L. INFELD

Noile căi ale științei

EDITURA ȘTIINȚIFICĂ

LEOPOLD INFELD

NOILE CĂI ALE ŞTIINŢEI

Materia — radiaţiile





EDITURA ŞTIINŢIFICĂ
BUCUREŞTI, 1960

Traducere din limba polonă
de *Cazimir Urbanski*
după ediția a 2-a completată
și modernizată de
Wtodzimierz Kotos

LEOPOLD INFELD
NOWE DROGI NAUKI
Materia — promieniowanie
Wiedza Powszechna
1957

PREFAŢA

Leopold Infeld s-a născut la 20 august 1898 la Cracovia. Studiile universitare şi lucrarea de doctorat şi le face în oraşul natal. După o perioadă de 9 ani de activitate în învăţămîntul mediu, Leopold Infeld îşi începe activitatea didactică universitară, fiind mai întîi asistent, apoi docent al Universităţii din Lwow.

În anul 1936, Infeld pleacă la Princeton în Statele Unite unde timp de doi ani lucrează împreună cu Albert Einstein. După încă 12 ani de activitate didactică şi ştiinţifică în străinătate, Leopold Infeld se reîntoarce în Republica Populară Polonă unde ocupă catedra de fizică teoretică iar apoi postul de director al Institutului de fizică teoretică din Varşovia. El este membru al prezidiului Academiei Polone de Ştiinţe.

Numeroasele şi valoroasele lucrări de fizică teoretică i-au adus lui Leopold Infeld o bine meritată autoritate ştiinţifică. Colaborator apropiat al lui Albert Einstein, cunoscutul savant polonez a fost unul dintre fizicienii remarcabili care au preluat şi dezvoltat marile idei de la începutul secolului nostru, menite să ducă mai departe cunoaşterea noastră asupra structurii materiei.

Participînd la transformările dramatice pe care le-a suferit fizica în decursul unei jumătăţi de secol, Leopold Infeld îşi propune în lucrarea de faţă să prezinte cititorilor o scurtă istorie a acestor evenimente. Deznodămîntul fiecărei etape a acestei povestiri, îl constituie formularea unuia dintre noile principii ale fizicii contemporane.

Sfîrşitul secolului trecut şi începutul secolului nostru au dus la acumularea unui impresionant tezaur de fapte

experimentale referitoare la proprietățile și structura atomului. Teoriile fizice ale vremii nu erau în stare să cuprindă acest material experimental. Au apărut noi concepții teoretice care, la rîndul lor, explicînd parțial datele experimentale obținute, au indicat noi căi de experimentare. Strînsa legătură între teorie și experiență — caracteristică nu numai fizicii ci oricărei ramuri a științei — a determinat într-o bună măsură progresul considerabil realizat în fizică în ultima jumătate de secol. În fiecare domeniu de activitate științifică, această legătură capătă însă o formă specifică. Dat fiind rolul ei esențial în dezvoltarea științei, autorul fărții își începe lucrarea cu o admirabilă ilustrare a modului în care evoluția concepțiilor teoretice determină progresul fizicii.

Paragrafele urmînd primului capitol sînt consacrate determinismului și statisticii. Astfel sînt prezentate cititorului foarte pe scurt două probleme cari au frămîntat mult pe fizicienii ce s-au consacrat studiului structurii materiei. Descoperirile făcute în domeniul structurii atomului au scos la iveală noi tipuri de interacțiune neîntîlnite în fizica „macroscopică". Legilor statistice cunoscute încă din secolul trecut, cărora li se supuneau de pildă moleculele unui gaz, li s-au alăturat legile statistice specifice particulelor subatomice, al căror sens este esențial diferit de cel al primelor legi.

Discutarea încă de la începutul cărții a acestor probleme atît de dificile, înarmează pe cititor cu cunoștințele generale necesare pentru a putea urmări mai departe firul povestirii.

Capitolul al doilea al cărții, intitulat „Radiațiile", începe cu o scurtă prezentare a evoluției concepțiilor despre lumină. Dezvoltarea acestor concepții conduce la descoperirea comportării dualiste, undă-corpuscul, a fenomenului luminos.

Această descoperire este precedată însă de o altă mare descoperire, menită să revoluționeze fizica zilelor noastre: discontinuitatea proceselor de emisie și absorbție a luminii. Înțelegerea acestor probleme, destul de complicate, este ușurată de descrierea admirabil de clară a efectului fotoelectric, a cărei explicare devine foarte simplă pe baza concepțiilor amintite mai sus.

Depănîndu-şi astfel povestirea, autorul ajută pe cititor să înfrunte şi să depăşească cu seninătate una dintre cele mai dificile perioade a dezvoltării fizicii moderne.

Descrierii modelului atomic al lui N. Bohr îi este consacrat cel de-al treilea capitol. De fapt, în acest capitol, cititorul face pentru prima dată cunoştinţă cu proprietăţile edificiului atomic. Modelul atomic propus de Bohr este prezentat ca o încoronare a încercărilor făcute pînă la începutul secolului nostru, de a explica spectrele optice ale hidrogenului. Prezentarea completă a acestei etape de dezvoltare a concepţiilor despre structura atomului necesită citarea rezultatelor obţinute de Sommerfeld în dezvoltarea ideilor lui Bohr. Dar aceasta necesită la rîndul său utilizarea cîtorva rezultate ale teoriei relativităţii. Cu măiestria fizicianului care a participat la dezvoltarea acestei teorii remarcabile, autorul reuşeşte ca în puţine rînduri, scrise accesibil pentru toţi cititorii, să redea elementele necesare înţelegerii căilor de dezvoltare a modelului atomic propus de N. Bohr. Capitolul se încheie cu o descriere a tabloului periodic al elementelor, pe baza cunoştinţelor căpătate despre structura atomului.

Cu enumerarea în capitolul IV a proprietăţilor razelor X şi explicarea spectrelor razelor X în lumina modelului atomic al lui Bohr, se încheie prima etapă a povestirii progreselor fizicii în secolul nostru. Două paragrafe ale acestui capitol sînt consacrate efectelor Compton şi Raman. Primul efect apare în procesul de interacţiune al radiaţiei de lungime de undă scurtă (de exemplu razele X) cu substanţa corpusculară, iar cel de-al doilea efect este specific interacţiunii radiaţiei de lungime de undă lungă (radiaţie vizibilă) cu substanţe. Ambele efecte demonstrează comportarea corpusculară a radiaţiei. Descrierea lor în această etapă a povestirii reprezintă de fapt o reaccentuare a comportării specifice a substanţei, atunci cînd procesul de interacţiune are loc la scară atomică.

Modelul actual al atomului este rezultatul elaborării unei noi mecanici — mecanica cuantică. Izvorîtă din necesitatea de a găsi o reprezentare a lumii subatomice mai cuprinzătoare decît a lui Bohr, mecanica cuantică grupează legile de care ascultă procesele în care interacţionează particulele ce formează această lume.

Evoluţia acestei noi mecanici şi descrierea modelului atomic ce decurge din aplicarea ei, fac obiectul celui de al V-lea capitol al cărţii. Autorul prezintă succesiv ideile lui de Broglie, Schrödinger, Heisenberg şi Dirac, fizicieni a căror contribuţie a determinat conturarea noii mecanici în formele pe care le cunoaştem azi. Cititorul face astfel cunoştinţă cu un capitol destul de dificil al fizicii moderne. Dificultatea constă în aceia că el întîlneşte aici moduri de comportare ale particulelor ce nu-şi pot găsi nici o analogie în fizica macroscopică, şi deci într-o oarecare măsură, în experienţa cotidiană. Înţelegerea acestui capitol este uşurată de introducerea unor exemple care, prin analogie, dau o imagine foarte clară a subiectului tratat.

Următoarele capitole ale cărţii sînt consacrate nucleului atomic. Cititorul ia cunoştinţă astfel, în capitolul VI, cu defectul de masă, cu definiţia izotopilor, retrăieşte istoria descoperirii radioactivităţii. Descrierea familiilor radioactive uşurează înţelegerea enunţurilor legilor de deplasare radioactivă. Necesitatea unei corecte înţelegeri a fenomenului radioactivităţii pentru urmărirea ultimei părţi a cărţii, justifică dezvoltarea pe care autorul a dat-o expunerii acestui fenomen.

Descoperirea radioactivităţii a sugerat şi a creat posibilitatea realizării în laborator a transformării elementelor. Cititorului îi sînt astfel prezentate îndrăzneţele experienţe ale lui Rutherford, deschizătoare de noi căi în dezvoltarea ştiinţei. Succesul acestor experienţe, care dovedeau posibilitatea transformării artificiale a elementelor, a condus paşii cercetărilor către o nouă descoperire importantă, aceea a radioactivităţii arti iciale. Meritul acestei mari descoperiri, le-a revenit soţilor Irène şi Frédéric Joliot-Curie.

Descrierea de către autor în paginile următoare a fenomenelor de transmutaţie artificială a elementelor şi de radioactivitate artificială contribuie la o mai uşoară înţelegere a procesului eliberării energiei nucleare.

Penultimul paragraf al capitolului VI este consacrat problemei energiei stelare. Cititorul este invitat să pătrundă în unul dintre cele mai captivante compartimente ale ştiinţei, acela care se ocupă cu studiul originii stelelor. El află astfel că, măcar parţial, pasionantele probleme pe care le ridică această ramură a ştiinţei, îşi găsesc rezolvarea în succesele fizicii moderne.

Ultimul paragraf al capitolului, este consacrat unei probleme destul de spinoase încă, aceea a forţelor nucleare. În încheierea cărţii autorul prezintă pe scurt ultima descoperire remarcabilă în domeniul fizicii nucleare, aceea a principiului neconservării parităţii.

*
* *

În cuprinsul cărţii autorul revine adeseori asupra caracterului statistic al legilor specifice lumii subatomice. Vom insista totuşi asupra acestei probleme dat fiind importanţa ei pentru înţelegerea multora din fenomenele descrise în paginile lucrării prezentate cititorilor.

Experienţa de fiecare zi ne familiarizează cu un tip de interacţiune specific fizicii macroscopice. De exemplu, bila de biliard, în repaus pe masa de biliard va căpăta întotdeauna aceeaşi mişcare ori de cîte ori va fi ciocnită cu tacul în acelaşi mod.

Această legătură simplă între cauză şi efect este caracteristică atît mecanicii clasice cît şi întregii fizice ce a precedat descoperirile făcute în domeniul structurii materiei. Experienţa cotidiană dădea acestui tip de legătură cauzală caracterul de lege absolută a fenomenelor fizice.

Dezvoltarea teoriei cinetice a gazelor a condus la necesitatea formulării legilor de comportare a unui sistem constituit dintr-un număr uriaş de particule. Pentru a ne putea imagina mărimea acestui număr este suficient să menţionăm că într-un centimetru cub de oxigen, la presiunea atmosferică şi la temperatura camerei se găseşte un număr de molecule ce ar trebui exprimat aproximativ prin cifra 3 urmată de 19 zerouri. Însăşi citirea unui asemenea număr pune în încurcătură pe cititor. Aplicînd procedeele obişnuite cunoscute din mecanică, starea sistemului constituit din molecule de oxigen ar putea fi determinată dacă am putea cunoaşte poziţia şi viteza fiecărei molecule, la un moment dat. Evident, rezolvarea problemei printr-o asemenea cale este imposibilă. Fizicianul nu are la îndemînă nici o metodă care să-i permită stabilirea acestor parametri pentru fiecare moleculă în parte.

Aşadar, deşi fiecare moleculă de oxigen ascultă în parte de nişte legi de mişcare asemănătoare acelora de care ascultă de pildă bila de biliard, problema determinării stării mo-

leculelor cuprinse într-un centimetru cub de oxigen este nerezolvabilă pornind pe calea tratării fiecărei molecule în parte ca o asemenea bilă. Putem însă să ne formăm o foarte bună reprezentare despre starea sistemului dacă ne vom formula problema în mod diferit. Nu ne vom mai interesa de starea fiecărei molecule, ci vom căuta să aflăm cîte molecule de oxigen au, de exemplu, o anumită viteză. Așadar, ne propunem să determinăm modul cum sînt repartizate moleculele după vitezele lor, în loc să determinăm viteza fiecărei molecule în parte. Evident, la capătul unui asemenea raționament unica afirmație posibilă este aceea că atît la sută din numărul total de molecule au o anumită viteză, individualitatea fiecărei molecule fiind exclusă din raționamentul nostru. Modificarea condițiilor în care se găsește gazul considerat, de exemplu, mărirea temperaturii gazului, va duce la o modificare a stării fiecărei molecule în parte. Ca o consecință a acestei modificări se va schimba și distribuția moleculelor după viteză. Modul în care se schimbă starea sistemului constituit din molecule de oxigen poate fi urmărit, așadar, cercetînd numai schimbările ce se produc în repartizarea moleculelor pe diferite viteze. Ajungem în modul acesta la formularea unei legi după care se modifică starea sistemului cînd variem temperatura gazului. Această lege are un caracter statistic; ea este absolut valabilă numai pentru întregul sistem. Pentru fiecare moleculă în parte, această lege nu este aplicabilă decît în măsura în care se renunță la individualizarea acesteia. Dar și în acest caz, unica afirmație posibilă este: molecula poate avea această viteză cu „probabilitatea de atît la sută".

Teoria cinetică a gazelor ne duce astfel la formularea unor legi statistice cărora li se supun sisteme de particule, de molecule de gaz, care, fiecare în parte, ascultă de niște legi identice celor cunoscute nouă din mecanica sistemelor macroscopice, legi ce au fost denumite dinamice. Așadar, legea statistică accesibilă observației noastre este consecința unui număr uriaș de mare de procese, fiecare din ele supuse fiind unei aceeași legi dinamice.

Fenomenul de radioactivitate ne descoperă un alt tip de legi statistice. În ce constă fenomenul de radioactivitate, cititorul va afla pe larg din cuprinsul cărții. Aici, ne vom mărgini a spune că acest fenomen constă în transformarea

unui nuclid într-un alt nuclid, în urma modificărilor ce au loc în nucleele atomice. Aceste modificări sînt însoțite de emisia unor particule despre care se va aminti în ultimele capitole ale lucrării.

Studiul fenomenului de radioactivitate a condus la descoperirea unei legi care afirmă că numărul relativ de nuclee ce se transmută în unitatea de timp este o constantă specifică nuclidului radioactiv: această constantă este denumită „constantă de dezintegrare". Așadar, dacă numărul atomilor ce formează o anumită cantitate de substanță radioactivă la un moment dat, este N, atunci în secunda următoare se vor transmuta un număr de atomi egali cu produsul dintre N și constanta radioactivă a substanței considerate. Fiecare din nucleele celor N atomi prezenți în cantitatea de substanță radioactivă aleasă este în stare să sufere procesul de transformare. Momentul în care nucleul își realizează posibilitatea de transformare nu este determinat. De aceea, unica mărime care se poate defini este procentul de nuclee atomice ce pot suferi procesul de transmutare în unitatea de timp. Această mărime arată, în același timp, care este probabilitatea ca un anumit nucleu să sufere în unitatea de timp acest proces.

Și aici, ca și în cazul teoriei cinetice a gazelor, ajungem la formularea unei legi ce-și găsește absolută aplicabilitate numai pentru un sistem constituit dintr-o mulțime de atomi. Renunțarea la individualizarea fiecărui nucleu atomic în parte, permite aplicarea legii valabile pentru întregul sistem, la un singur nucleu; în acest caz însă, legea se mărginește să afirme că pentru nucleul radioactiv considerat, probabilitatea de transmutare este de atît la sută.

Spre deosebire de prima lege amintită, legea dezintegrării radioactive este o lege eminamente statistică. Componentele sistemului ce se supun acestei legi ascultă ele înșile în actele individuale de niște legi statistice.

Cercetările întreprinse în domeniul fizicii particulelor elementare au dus la descoperirea caracterului statistic al comportării sistemelor formate din asemenea particule. De mai bine de două decenii au loc discuții aprinse în jurul acestei probleme: unii fizicieni atribuie fiecărei particule în parte comportarea statistică; alții susțin că acest caracter este specific numai sistemului de particule. Cititorul va

găsi și în paginile cărții un ecou al acestor discuții vii și atît de interesante. Experiența de pînă acum nu permite încă optarea pentru nici unul din punctele de vedere amintite, cu atît mai mult cu cît, în stadiul actual de dezvoltare a științei, consecințele ce decurg din ambele concepții coincid.

Este de remarcat că, în ultimii ani, rezultatele obținute de școala cunoscutului savant francez Louis de Broglie, și în particular de către Vigier indică posibilitatea ca în comportarea statistică a particulelor elementare să se ascundă o comportare individuală riguros dinamică. Evident, o asemenea descoperire ar fi remarcabilă. În stadiul actual însă, evoluția științei pare a fi arătat cu destulă elocvență că legilor eminamente dinamice cu care se obișnuise fizica clasică, li se alătură un nou tip de legi, eminamente statistice, ce devin evidente o dată cu extinderea cunoștințelor noastre în lumea subatomică.

Continua evoluție a concepțiilor referitoare la structura materiei, oglindire a unei lumi ce există în afară și independent de noi, modificările pe care le suferă teoriile ce caută să cuprindă mulțimea de fapte pe care experiența le descoperă, sînt mărturie a caracterului relativ al adevărului accesibil fizicianului.



De multă vreme, cercetările în domeniul fizicii nucleare stîrnesc interesul marelui public, prin perspectivele ce le deschid științei și tehnicii. Este firesc dar ca o carte consacrată prezentării problemelor fizicii moderne să se încheie cu o expunere a consecințelor ce decurg din progresul fizicii pentru aceste domenii ale activității omenești. Prezentarea sumară a acestei probleme în ultimele paragrafe ale cărții este justificată de faptul că ea depășește într-o oarecare măsură scopul urmărit de autor în lucrarea de față.

Vom căuta în cele ce urmează să informăm cititorul asupra unora dintre aplicațiile pe care și le-au găsit în tehnica modernă rezultatele cercetărilor din domeniul fizicii nucleare.

Așa cum menționează și autorul cărții, descoperirea condițiilor în care are loc eliberarea energiei nucleare a creat posibilitatea prevederii unui sistem energetic al cărui izvor de energie să fie combustibilul nuclear. Este adevărat că

rezervele de combustibil ale globului pămîntesc sînt limitate. Totuși, sîntem încă departe de momentul în care s-ar putea vorbi de apropierea unei crize de combustibil. Înlocuirea combustibilului obișnuit cu combustibil nuclear, pe lîngă economisirea zăcămintelor existente, duce la posibilitatea utilizării pe o scară mai largă a petrolului și cărbunelui ca materie primă în industria chimică. Este greu de apreciat care dintre aceste consecințe este mai importantă. Cert este faptul că descoperirea unui nou tip de combustibil poate contribui la dezvoltarea energeticii.

Prima centrală atomoelectrică, realizată de către oamenii de știință și tehnicienii sovietici,a dovedit posibilitatea includerii combustibilului nuclear în lista combustibililor pe care omenirea poate conta în progresul său tehnic. Au trecut numai patru ani de la această dată și în Uniunea Sovietică, Statele Unite, Anglia, Cehoslovacia, Republica Democrată Germană, fizicienii și inginerii colaborează la crearea de centrale atomice de putere mijlocie și mare, care urmează să fie cuprinse în sistemul energetic al țărilor respective.

Necesitatea dezvoltării energeticii nucleare a determinat într-o bună măsură progresul tehnicii reactorilor nucleari. Acesta la rîndul lui, a contribuit la dezvoltarea unor noi capitole ale metalurgiei și tehnologiei materialelor. Metale ca beriliu și zirconiu, relativ puțin folosite înainte, au devenit materiale curente în tehnica nucleară. Aceasta a și determinat un progres rapid al metalurgiei acestor elemente. Utilizarea diferitelor materiale în construcția reactorilor impunea cunoașterea modului lor de comportare sub acțiunea radiațiilor. O măsură a complexității problemelor pe care le ridică modificările de proprietăți ale materialelor determinate de acțiunea radiațiilor o constituie numărul mare de lucrări prezentate la cele două conferințe internaționale consacrate utilizării în scopuri pașnice a energiei atomice ținute la Geneva în anii 1955 și 1958.

Revistele de specialitate anunță realizarea, în ultima vreme, de reactori nucleari de mare putere, cu funcționare în regim de impulsuri. Cu ajutorul unor asemenea reactori se vor putea întreprinde noi cercetări în domeniul fizicii și tehnicii nucleare.

De la primul reactor nuclear realizat de marele savant Enrico Fermi în anii celui de-al doilea război mondial, la reactorul atomic ce pune în funcţiune motoarele spărgătorului de gheaţă „V.I. Lenin“, construit în şantierele navale din Leningrad, ştiinţa şi tehnica nucleară au parcurs un drum impresionant, deşi timpul ce separă aceste două construcţii este de numai aproximativ 15 ani. Acesta constituie numai unul dintre exemplele nenumărate care ilustrează ritmul rapid în care rezultatele cercetărilor în domeniul fizicii nucleare sînt introduse în tehnică, contribuind astfel la progresul omenirii.

La dezvoltarea impetuoasă a fizicii în ultima jumătate de secol au contribuit, în mare măsură, alături de fizicienii din întreaga lume fizicienii sovietici.

Cititorii cărţii pe care o prezentăm vor afla în cursul lecturii de contribuţia prof. D.D. Ivanenko la stabilirea structurii neutrono-protonice a nucleului atomic. Tot atît de cunoscute sînt lucrările academicianului Kurceatov în domeniul *izomeriei* nucleare şi efectul Cerenkov, pentru a cărui descoperire şi interpretare, savanţilor sovietici Cerenkov, Franck şi Tamm li s-a decernat premiul Nobel pentru fizică în anul 1958.

Alături de fizicienii menţionaţi mai sus, o mulţime de alţi specialişti sovietici şi-au căpătat o binemeritată reputaţie mondială prin lucrările lor.

Succesele obţinute în ultimile decenii în domeniul razelor cosmice sînt strîns legate de numele savanţilor Skobelţîn, unul dintre pionierii acestui domeniu atît de interesant al fizicii, Alihanian, Alihanov, Jdanov, Vernov, Dobrotin, pentru a aminti numai cîteva din numele celor ce au lucrări remarcabile în studiul radiaţiei cosmice. Laboratoarele de mare altitudine din Pamir şi de pe Alaghiz ca şi laboratoarele din Moscova şi Erevan, grupează zeci de cercetători, ale căror lucrări sînt bine cunoscute tuturor acelora ce se interesează de fizica particulelor de energii mari.

O contribuţie importantă la dezvoltarea metodelor de accelerare a particulelor elementare a adus-o academicianul Vexler. Sub conducerea lui a fost realizat sincrofazotronul Institutului unificat de cercetări nucleare de la Dubno. La acelaşi institut, funcţionează sincrociclotronul de 680 MEV;

unul din cele mai mari acceleratoare de acest tip, din lume, realizat sub îndrumarea profesorului Meşceriacov. În domeniul fizicii teoretice, savanţii sovietici au adus o contribuţie deosebit de preţioasă prin lucrările academicienilor Bogoliubov, Landau, Fock şi a multor alţii. De altfel şi în acest domeniu ca şi în altele, enumerarea are numai un caracter ilustrativ. Mai elocventă decît citarea de nume este amintirea rezultatelor remarcabile pe care le-a obţinut fizica sovietică în ultimii ani. Unele din aceste rezultate au şi devenit un bun al întregii omeniri prin aplicarea lor în tehnică. Altele numai sugerează asemenea perspective. Le vom aminti în cele ce urmează. Trebuie subliniat însă de pe acum faptul că savanţilor le revine marele merit de a fi dovedit omenirii că cuceririle fizicii nucleare, pot să contribuie la progresul tehnicii, uşurînd munca omului.

Cu aproximativ trei ani în urmă, în cadrul unei expuneri făcute la centrul de cercetări nucleare de la Harwel, savantul sovietic Kurceatov anunţa că fizicienii şi tehnicienii sovietici au realizat un proces de descărcare electrică în gaze în cursul căruia se poate atinge o temperatură de cîteva milioane grade Celsius. O asemenea experienţă sugera posibilitatea producerii şi conducerii, în condiţii de laborator, a reacţiilor termonucleare. La conferinţa internaţională consacrată utilizării în scopuri paşnice a energiei nucleare, ţinută la Geneva în octombrie 1958, savanţii sovietici, americani, englezi şi suedezi şi-au împărtăşit rezultatele obţinute în această direcţie de cercetare.

Concluziile acestor schimburi de păreri justifică încrederea că într-un viitor nu prea îndepărtat, reacţiile termonucleare vor fi tot atît de supuse voinţei omului ca şi reacţiile nucleare de fisiune. Fizica nucleară va fi astfel în stare să dea energeticii viitorului un nou izvor de energie.

Dezvoltarea energeticii constituie numai una dintre consecinţele progresului realizat de fizica nucleară. Producerea pe scară industrială a radioizotopilor, în urma proceselor de iradiere în reactorul nuclear, a permis introducerea unor noi metode de lucru în chimie, biologie, medicină, agronomie, în diferitele ramuri ale ştiinţelor tehnice. Chiar şi arheologia, ştiinţă ce la prima vedere nu are nimic comun cu fizica, şi-a putut împrumuta din fizica nucleară o metodă de lucru menită să-i simplifice modul de cercetare. Radio-



activitatea unui izotop al carbonului, carbonul cu numărul de masă 14, îngăduie de exemplu, determinarea vîrstei unei mumii cu o precizie destul de bună.

În ultimii ani, economiile considerabile pe care le aduc, au determinat introducerea unor metode ale fizicii nucleare în procesele industriale. Se produc astfel în serie acceleratoare de electroni utilizate în industria chimică. Tuburile de raze X care folosesc ca izvor de electroni stronțiu radioactiv, capătă întrebuințare în tehnica medicală. Betatronul, accelerator de electroni care constituie un puternic izvor de radiații dure, a devenit unul dintre aparatele curent utilizate în marile spitale. În sfîrșit, sursele de raze gamma, cu Cobalt 60, își găsesc întrebuințarea în domeniile cele mai variate ale tehnicii.

Dacă economiile rezultate din introducerea metodelor fizicii nucleare în tehnică sînt mari, nu este mai puțin adevărat că și cheltuielile pe care le necesită cercetările în acest domeniu sînt importante. De aceea, centrele naționale de cercetări nucleare nu pot avea întotdeauna posibilitatea de a-și utila laboratoarele în vederea atacării întregii varietăți de probleme pe care le ridică evoluția fizicii moderne. Aceasta a determinat crearea unor institute de cercetări internaționale, cu participarea mai multor state. Un institut de acest gen, care funcționează de mai bine de doi ani, este Institutul unificat de cercetări nucleare de la Dubno. În acest Institut, dotat cu unul dintre cele mai mari acceleratoare de particule din lume, lucrează cercetători din toate țările de democrație populară.

Conduse de dorința fermă de a pune cuceririle științei în slujba construcției pașnice, Uniunea Sovietică, Republica Populară Chineză și celelalte țări de democrație populară și-au unit eforturile pentru a crea oamenilor de știință toate condițiile de cercetare necesare pentru a pătrunde mai adînc în cunoașterea lumii particulelor elementare.

Fizicienii și inginerii din țara noastră, ce lucrează la Institutul unificat de cercetări nucleare, își unesc efortul lor cu cel al colegilor din țările prietene pentru dezvoltarea ramurii atît de actuale a științei, aceea a fizicii nucleare.

Colaborarea strînsă între centrul unificat de cercetări nucleare și centrele naționale de cercetări nucleare constituie un ajutor prețios în dezvoltarea muncii de cercetare.

Lucrarea de faţă, ca şi cartea „Evoluţia fizicii“ scrisă de A. Einstein în colaborare cu L. Infeld şi tradusă la noi nu de mult, conduce pe cititor într-o lume complexă, dificilă şi poate destul de greu accesibilă nespecialistului, aceea a fenomenelor fizice. Numai măiestria autorului reuşeşte să înlăture sau să diminueze obstacolele din calea cititorului, dîndu-i astfel posibilitatea să admire în toată frumuseţea ei, această minunată cucerire a minţii omeneşti: fizica lumii subatomice.

Conf. univ. D. BALLY

INTRODUCERE

Am scris această carte spre sfîrşitul anului 1932. Ea a apărut în anul 1933. Pînă la izbucnirea războiului, tirajul ei era epuizat, iar cartea a fost tradusă în cîteva limbi străine. În cursul celor 25 de ani, care despart data scrierii cărţii de ziua de azi, ştiinţa a progresat mult şi unele afirmaţii s-au perimat, mai ales acelea care se refereau la nucleul atomului.

Noua ediţie este *modificată şi modernizată*. Această sarcină a luat-o asupra sa, cu entuziasm, docentul Wtodzimierz Kotos. Am impresia că el a reuşit să se achite foarte bine de sarcina sa. Într-adevăr, cartea n-a pierdut nimic din caracterul ei unitar. Ca şi înainte, scopul ei constă nu în prezentarea amănuntelor experimentale, ci mai cu seamă a principiilor fizicii contemporane. Ca şi înainte, ea nu cere de la cititori nici un fel de cunoştinţe speciale în afară de bunăvoinţă şi răbdare. Şi astăzi, ca şi cu mulţi ani în urmă, ea va oferi tinerilor plăcerea acelor emoţii, la care vor lua parte în viitor şi a căror sursă este ştiinţa.

Capitolul I

DESPRE METODELE DE GÎNDIRE ÎN FIZICĂ

Rolul teoriei în știință

În ziua de 15 noiembrie 1647 Pascal, într-o scrisoare adresată lui P rier, a scris: „Nu v-aş distrage de la munca Dv. continuă, legată de profesie, ca să vă ocup timpul cu probleme de fizică, dacă n-aş şti că ele sînt pentru Dv. un răgaz în clipele libere şi un divertisment neobositor... Este vorba de executarea, în repetate rînduri, a cunoscutei experienţe cu vid, în cursul aceleiaşi zile în acelaşi tub, cu acelaşi mercur, succesiv la poalele muntelui şi pe vîrful lui, pentru a verifica dacă înălţimea coloanei de mercur va fi aceeaşi în ambele cazuri, sau va fi diferită... Este lucru sigur că la poalele muntelui apasă mai mult aer decît pe vîrful lui".

Pascal a prevăzut cu 300 de ani în urmă acest fapt simplu, aproape banal: presiunea atmosferică sus la munte este mai scăzută decît la şes. Numai experienţa poate să confirme sau să infirme această idee. Ce răspuns a dat experienţa? Îl aflăm în scrisoarea trimisă lui Pascal de către Périer, în ziua de 22 septembrie 1648: „În cele din urmă am făcut experienţa pe care Dv. o doreaţi de atîta timp... Pe vîrful lui Puy de Dôme... s-a putut vedea, că în acest tub au rămas numai 23 de ţoli şi 2 linii de mercur, în timp ce în «Grădina călugărilor», în acelaşi tub erau 26 ţoli şi 3 linii şi jumătate: prin urmare, în aceste două cazuri apare diferenţa de 3 ţoli şi 1,5 linii. Acestea mă umplu de admiraţie şi uimire..."

În aceste două scrisori vedem cu mult mai mult decît o poveste obişnuită a descoperirii unei legi ştiinţifice. Observăm în ele două dintre cele mai esenţiale caracteristici ale creaţiei ştiinţifice: Prevederea unor anumite fapte, a unor anumite legi şi verificarea acestora cu ajutorul experienţei.

Cît de mult ne-am îndepărtat în cursul celor 300 de ani de la aceste metode primitive şi simple ale experimentării! Producem în laboratoare tensiuni de milioane de volţi, pătrundem în interiorul atomilor, realizăm transmutarea unor elemente în altele, cercetăm radiaţiile cosmice din stratosferă, deviem fascicule de electroni, construim aparate complicate pentru a descoperi legile simple sau complicate care guvernează natura, dar aceste constatări despre care am citit în scrisorile lui Pascal şi Périer au rămas neschimbate. Fiecare teorie ştiinţifică explică şi prezice anumite fapte, iar experienţa confirmă sau infirmă aceste profeţii.

Să ne închipuim un fizician care lucrează la o problemă simplă de experienţă, fie ea oricît de veche. De exemplu: Cum se poate înainta măcar cu un pas în precizia măsurării căldurii de topire? În ce fel trebuie modificată, schimbată aparatura pentru a deveni mai subtilă, ca să obţinem un rezultat cu încă o zecimală în plus? N-avem voie să subapreciem o muncă de acest fel. Înregistrînd benzile spectrale ale anumitor corpuri, aducînd precizie mai mare în măsurarea densităţii sau rezistenţei materialelor, fizicianul execută o muncă utilă, căci furnizează date de care se va folosi tehnica în viitor, sau înregistrează mai multe date, din care cîndva va răsări poate o idee teoretică nouă, o concepţie nouă despre fenomenele naturii. Dar nu ne vom ocupa cu acest domeniu al cercetărilor! Să ne gîndim la cercetările cele mai esenţiale şi cele mai adînci din fizică, acelea care au transformat fundamental concepţiile noastre despre structura lumii înconjurătoare şi legile care o guvernează.

În anul 1919 două expediţii ştiinţifice engleze înzestrate cu cele mai bune aparate de pe atunci pentru fotografierea cerului, au plecat în două locuri diferite ale globului. Una din ele a ales drumul spre Sobral în Brazilia, alta spre insula Principe în Golful Guineei, în apropiere de coasta Africii. Calculele astronomice prevedeau că tocmai în aceste

localități în momentul stabilit se va putea vedea o eclipsă totală de soare. În plină zi însorită luna acoperă pentru cîteva minute în fața noastră soarele, provocînd o noapte cu stele, dînd naștere unui fenomen plin de farmec și neliniște. Vor trece ani pînă cînd iarăși, undeva pe globul terestru, o nouă eclipsă va întrerupe monotonia răsăriturilor și apusurilor de soare, care luminează bucuriile, tristețile și necazurile vieții noastre. Care era scopul acestor expediții? Iată-l: fotografierea stelelor vizibile din vecinătatea cea mai apropiată a soarelui eclipsat. Examinarea fotografiilor trebuia să dea răspunsul la următoarea întrebare: oare prevederile teoriei relativității generale sînt adevărate? Oare, în cîmpul gravitațional al soarelui, razele de lumină trimise de stele, suferă în adevăr o deviație de un anumit fel? Fotografiile efectuate în timpul eclipsei solare au demonstrat că acest efect se produce în adevăr.

Între cele două cercetări, efectuate la o distanță atît de mare în timp, adică între experiența efectuată cu un simplu tub barometric și măsurătorile astronomice complicate și subtile observăm analogii. Atît în primul cît și în al doilea caz există o anumită concepție despre natura acestor fenomene, care duce la formularea problemelor respective. Se va coborî oare nivelul coloanei de mercur pe vîrful muntelui? Fotografiile unei regiuni a cerului luate în momentul eclipsei de soare și aceleași regiuni în cursul nopții înstelate, vor fi oare identice sau vor prezenta — după cum prevede teoria relativității — anumite diferențe mici, ce se pot stabili cu ajutorul măsurătorii?

Într-o cercetare științifică imboldul muncii creatoare este căutarea răspunsului la întrebarea formulată de teorie. Întîmplarea care vine în ajutor este doar un capriciu al naturii, este o excepție care doar confirmă regula.

Ce este teoria?

Teoria științifică este o încercare, o năzuire de a făuri o imagine a realității ce ne înconjoară. Ea se extinde la un domeniu mai larg sau mai îngust de fapte și legi experimentale, introducînd în ele rînduială și ordine. Știința nu este un conglomerat de legi și un depozit de fapte. Stabilind legătura între aceste fapte pe baza gîndirii logice, teoria creează viziunea realității. Din cele două exemple citate am văzut că teoria face mai mult. Ea este un factor creator, este un

îndrumător în domeniul unor fenomene noi şi necunoscute, ne arată cum să făurim aparate noi şi să descoperim legi noi. Teoria îşi soarbe seva sa vitală din experienţe, dacă acestea confirmă concluziile ei. Ea poate fi doborîtă şi anulată dacă este în discordanţă cu concluziile experienţei. Experimentul este şi va rămîne totdeauna instanţa supremă, care decide soarta teoriei.

Cum iau naştere teoriile? Cum se creează şi se dezvoltă viziunea lumii înconjurătoare? Oare obţinem de la început o schiţă uşoară, un contur slab, care în dezvoltarea sa continuă să cîştige expresie, plasticitate, culori noi şi vii, păstrînd totuşi caracteristicile şi specificul schemei iniţiale? Sau, cu alte cuvinte, oare în dezvoltarea teoriei observăm numai factorul evolutiv sau cataclismele, revoluţiile mari, care schimbă într-un timp scurt concepţia noastră asupra structurii lumii şi legilor care o guvernează? În istoria dezvoltării ştiinţei observăm ambii factori: cel evolutiv şi cel revoluţionar. Evoluţia se face prin munca generaţiilor, prin efortul lor colectiv. Alături de nume strălucite, vestite, găsim o serie de lucrări mărunte, folositoare, care adîncesc gîndirea teoretică şi extind teoria asupra unor fenomene noi. Evoluţia este ridicarea clădirii ştiinţei pe fundamentele deja create. În perioada evoluţiei ajung la maturitate şi se dezvoltă ideile mari. În dezvoltarea ei teoria se eliberează de ipoteze stingheritoare, simpliste, domeniul faptelor cuprinse de ea devine din ce în ce mai vast, forma ei matematică iniţial simplă se complică paralel cu adîncirea ei.

Vom crea teorii care vor reflecta din ce în ce mai fidel lumea ce ne înconjoară, vom descoperi mereu fapte noi, fenomene noi; totuşi bogăţia naturii este inepuizabilă şi în fiecare stadiu de dezvoltare a ştiinţei vor apărea probleme noi, care cer să fie soluţionate. Dezvoltarea oricărei teorii face ca în ea să apară cu timpul fisuri şi crăpături mici, invizibile în clipa triumfului dar care cresc mai tîrziu, devenind din ce în ce mai evidente şi mai periculoase. În aceste dificultăţi, în discordanţa dintre concluziile teoretice şi experienţă, adesea chiar în contradicţiile interne, pe care nu va fi capabilă să le înlăture dezvoltarea teoriei, zac germenii unei evoluţii noi, apare necesitatea creării unor fundamente noi, unor baze noi ale ştiinţei. Eşecurile

teoriei pregătesc terenul pentru revoluţie. Ea este aproape întotdeauna opera unui singur geniu. Revoluţia în ştiinţă reprezintă plasarea problemelor pe un plan nou, ne învaţă să privim fenomenele dintr-un unghi deosebit, reprezintă punerea unor fundamente noi, construirea unei lumi deosebite, noi, în fizică.

În acest înţeles, revoluţionari în ştiinţă au fost numai puţini la număr. Din aceştia fac parte fără îndoială: Copernic, Galileu, Newton, Faraday, Mendeleev, Einstein, Bohr, creatori de teorii, pe care se bazează dezvoltarea evoluţionistă a ştiinţei ca rezultat al muncii generaţiilor care i-au urmat.

Observaţiile despre rolul teoriei în ştiinţă, prezentate aici, au un caracter general. Ele devin mai uşor de înţeles în lumina materialului doveditor prezentat în paginile următoare, în care a fost expus tabloul dezvoltării gîndirii teoretice în decursul secolului al XX-lea în domeniile cele mai importante ale ştiinţei contemporane — în domeniul structurii materiei şi în domeniul radiaţiilor.

Să adăugăm aici în treacăt cîteva exemple care arată rolul celor doi factori (evoluţionist şi revoluţionar) în ştiinţă.

Newton pune bazele mecanicii clasice. Lucrările lui Lagrange, Hamilton, Jacobi constituie dezvoltarea şi adîncirea acestor baze. Mecanica clasică obţine o formă matematică din ce în ce mai elegantă şi mai profundă. Domeniul faptelor cuprinse de ea devine din ce în ce mai mare.

Lagrange a fost acela care a spus: „Newton a fost nu numai cel mai mare, dar şi cel mai fericit dintre savanţi, căci ştiinţa despre univers poate fi creată numai o singură dată".

Oare într-adevăr este posibil de a crea ştiinţa despre univers numai o singură dată? Astăzi, plini de admiraţie pentru geniul lui Newton, înţelegem totuşi că Lagrange n-a avut dreptate. Norocul de a fi făurit ştiinţa despre lume nu era numai apanajul lui Newton. Lagrange trăia în epoca evoluţiei ştiinţei, în epoca adîncirii pentru prima oară a bazelor fizicii. El nu bănuia că poate exista o perspectivă nouă, mai adîncă, asupra fenomenelor naturii, că ştiinţa despre univers va fi creată în repetate rînduri.

Am auzit adesea vorbindu-se despre marea operă a lui Copernic, omul care a înţeles pentru prima dată că pămîntul

nu este centrul universului, ci o planetă care împreună cu celelalte gravitează în jurul soarelui. Această descoperire a inițiat nu numai astronomia de azi, dar și întreaga știință modernă despre univers și natură. În acest domeniu teoria relativității a introdus încă un factor nou, datorită căruia opera lui Copernic ne apare în altă lumină. Astăzi, cînd vrem să descriem, cu ajutorul ecuațiilor teoriei relativității, mișcarea a două corpuri cerești, de exemplu a pămîntului și a soarelui obținem același rezultat indiferent dacă analizăm mișcarea pămîntului în jurul soarelui, sau a soarelui în jurul pămîntului. Totuși, aceste ecuații trebuie legate de realitate; trebuie să dăm concluziilor matematice o interpretare fizică și să le comparăm cu rezultatele experienței. Analizînd mișcarea pămîntului și a soarelui în același sistem, obținem anumite abateri foarte mici de la teoria lui Newton, abateri confirmate pe deplin de observațiile astronomice. Aceasta constituie o confirmare și în același timp un succes uriaș al teoriei relativității. Dar pentru a ajunge la aceste concluzii, pentru a soluționa ecuațiile corespunzătoare, admitem întotdeauna că pămîntul se mișcă în jurul soarelui. În acest fel teoria relativității ne arată marea descoperire a lui Copernic într-o lumină nouă, adîncind cunoștințele noastre și înțelegerea noastră despre natură.

Ce concluzie rezultă din observațiile schițate aici fugitiv? Vedem că toate teoriile fizicii, la fel ca și viața omului, au începutul și sfîrșitul lor. În secolul al XX-lea, în secolul dezvoltării foarte intense a științei, ele trăiesc viața lor din plin și frumos, dar un timp scurt. Viziunea lumii înconjurătoare suferă necontenite transformări și schimbări datorite științei. Știința nu este o construcție, în care se schimbă cel mult niște amănunte secundare, decorative. O astfel de concepție ar fi sumbră și întristătoare și din fericire ea ar fi de asemenea și falsă. Bucuria muncii creatoare, bucuria rezultată de pe urma cunoașterii legilor științei rezidă în veșnica lor tinerețe și variabilitate. Variabilitatea înseamnă progresul, calea care merge în sus, cu toate greșelile și erorile inerente. Schimbăm teoriile ca să îmbrățișăm cu ele un domeniu din ce în ce mai vast de fapte, ca să obținem o concordanță din ce în ce mai bună și mai strînsă cu experiența, ca să obținem o viziune din ce în ce mai fidelă a lumii înconjurătoare.

Determinismul

Datorită descoperirilor geniale ale marilor creatori și trudei generațiilor de cercetători, știința construiește o viziune a lumii, viziune care se schimbă în timp.

În argumentările fizicii observăm anumite caractere comune, care sînt cele mai generale. Le vom analiza acum.

Fizica clasică se folosește de metode de argumentare strict deterministe. Abia în secolele al XIX-lea și al XX-lea fizica făurește, datorită lucrărilor lui Maxwell, Boltzmann, Smoluchowski și ale altora, metode noi de gîndire, metodele statistice. Ele au apărut pe fondul problemelor referitoare la structura materiei, cuprinzînd mai tîrziu capitolele mereu noi, din ce în ce mai vaste, ale fizicii. Dar și aceste metode suferă în cursul secolului al XX-lea transformări și modificări profunde. Teoria cuantelor, iar mai tîrziu mecanica cuantică pun în fața noastră probleme noi, creînd în același timp metode noi de gîndire, care duc la soluționarea lor și demonstrează mărginirea determinismului mecanicist, în vigoare pînă atunci.

În ce constă metoda gîndirii deterministe în fizică?

Să analizăm următoarele propoziții.

1) În această clipă o piatră este lăsată să cadă de la o înălțime de 80 m. Pe baza legii căderii corpurilor a lui Galileu prezicem că piatra se va lovi de pămînt după 4 secunde.

2) Printr-o sîrmă de cupru cu o anumită rezistență, trece un curent electric la o tensiune cunoscută. Sîntem în stare să calculăm cantitatea de căldură pe care o va produce acest curent în sîrmă în timp de un minut.

În ambele exemple citate mai sus am formulat anumite preziceri. Noi spunem dinainte unde va fi piatra după trecerea celor patru secunde sau cîte calorii de căldură se vor degaja în sîrmă în cursul unui minut. Dar numai în formularea ca atare a prezicerii fenomenelor încă nu vedem caracteristica esențială a fizicii. Doar și comunicatele meteorologice sînt niște preziceri, fără a mai pomeni de chiromanție, de ghicitul în cărți și de astrologie. Trebuie deci să precizăm mai îndeaproape caracterul prezicerilor din fizică și să evidențiem acele caracteristici, care le deosebesc de alte tipuri de preziceri.

Vom izola deci un sistem fizic, adică un fragment al naturii, de care ne ocupăm în momentul dat. În felul acesta simplificăm problema. Presupunem că sistemul este izolat, că astfel corpurile dinafară nu exercită nici o influență asupra fenomenelor în curs. Această ipoteză nu este îndeplinită niciodată cu precizie. Mişcarea mîinii executată în această clipă cînd scriu, clipirea pleoapelor fiecăruia dintre noi, exercită o influență chiar şi asupra soartei celor mai îndepărtate stele. N-am fi în stare totuşi să soluționăm nici o problemă, dacă n-am crea abstracția unui sistem izolat.

Pentru a nu ne pierde în afirmații generale, să ne gîndim la cele două exemple citate mai sus. În primul caz, acest sistem constă din piatra şi pămîntul, în cazul al doilea se compune, de exemplu, din sursa de curent, din conductorul prin care trece acest curent şi din ampermetrul pe care citim intensitatea curentului. Cînd cade o piatră, cînd creşte temperatura firului prin care trece curentul electric, în fiecare sistem au loc anumite modificări. Noi spunem că starea sistemului se schimbă. În fizică ne ocupăm cu cercetarea stărilor sistemelor. Pentru cunoaşterea stării sistemului trebuie să efectuăm o măsurătoare. Astfel am introdus nişte noțiuni fizice esențiale cum ar fi: starea sistemului şi măsurătoarea. Starea sistemului este determinată de anumite date descriptive care caracterizează sistemul nostru şi a căror cunoaştere este necesară pentru a putea prezice soarta lui în viitor. Vrem să ştim, de exemplu, care este starea sistemului în cazul căderii pietrei. Nu ne interesează cine lasă să cadă piatra, nici de unde fusese luată această piatră, nu ne este necesară nici măcar cunoaşterea masei acestei pietre. Noi măsurăm numai *înălțimea* la care a fost ridicată piatra deasupra pămîntului, şi *viteza* ei într-un anumit moment. Iată datele caracteristice ale stării sistemului.

Să presupunem că în urma măsurătorii am dobîndit cunoaşterea stării sistemului într-un anumit moment. Care va fi starea sistemului după scurgerea unui anumit timp? Trebuie oare (după scurgerea acestui timp) să executăm din nou măsurătoarea, dacă vrem să cunoaştem starea lui? Răspunsul la această întrebare ne duce la noțiunea de lege fizică. Cînd cunoaştem *starea* sistemului într-un anumit moment, cînd cunoaştem *legea* care guvernează acest sistem, putem — pe baza raționamentului — să prezicem rezultatul

măsurătorilor în orice moment ales de noi. *Orice fenomen din natură este guvernat de o lege!* Cunoaşterea stării sistemului şi cunoaşterea legilor ne vor permite să prezicem soarta sistemului în viitor. Cea mai mare minune este tocmai faptul, (după cum atît de frumos se exprimase Poincaré), că minuni nu au loc în natură, că natura este guvernată nu de întîmplări, ci de legi.

Acum vom fi în stare să formulăm în ce constă argumentarea deterministă în fizică. Dacă cunoaştem starea iniţială a sistemului precum şi legile care conduc acest sistem, putem să prezicem starea sistemului pentru orice moment ales de noi, iar starea prezisă o putem verifica printr-o măsurătoare. Această formulare bazată pe aplicarea principiului determinismului deosebeşte net prezicerile din fizică de alte preziceri, care nu ţin de domeniul fizicii.

Cunoaşterea legilor şi stărilor iniţiale ne descoperă soarta sistemului în viitor!

Putem într-un mod tot atît de precis şi pe baza aceloraşi date, să descifrăm şi trecutul unui sistem. Cunoscînd deci starea sistemului într-un anumit moment, precum şi legile care-l guvernează putem cunoaşte în acest caz atît trecutul cît şi viitorul lui.

Să ne închipuim că fizica a dezvoltat metodele de argumentare deterministe schiţate aici şi că tocmai în această direcţie a avut loc o dezvoltare uriaşă a fizicii. Să ne imaginăm deci că cunoaştem toate legile care conduc toate fenomenele din jurul nostru. Dacă am cunoaşte în cazul acesta starea universului numai într-o anumită clipă, am putea de asemenea să prevedem viitorul lui în cele mai mici amănunte. Viitorul fiecăruia dintre noi, viitorul poporului, soarta planetei noastre, soarta întregului univers, n-ar mai constitui pentru noi nici un secret. La fel am putea calcula stările trecute, cercetînd soarta globului nostru în orice clipă a trecutului îndepărtat.

Ficţiunea unor cunoştinţe care cuprind tot universul, prezentată aici, caracterizează această consecinţă extremă la care duce un determinism extrem, determinat de încercarea de a descrie lumea exclusiv cu ajutorul conceptelor mecaniciste. Astfel, caracterul determinist al fizicii secolului trecut, îşi află expresia sa cea mai tipică tocmai în mecanica clasică. Mecanica clasică formulată de Newton,

dezvoltată din punct de vedere formal de Lagrange, Hamilton şi alţii, constituie un exemplu de argumentări deterministe. Problema principală a mecanicii este următoarea: Dîndu-se un sistem de puncte materiale, cunoscîndu-se starea iniţială a sistemului, adică poziţiile şi vitezele iniţiale, pe baza cunoaşterii legilor mecanicii şi a forţelor care acţionează, să stabilim poziţiile şi vitezele punctelor materiale în orice moment atît în trecut cît şi în viitor.

Exemplul mecanicii clasice servea parţial ca model şi altor capitole ale fizicii cu caracter determinist, ca: termodinamica şi electrodinamica.

La jumătatea secolului al XIX-lea se credea că metoda de gîndire deterministă caracterizată aici este specifică pentru întreaga fizică, că ne va permite să obţinem cunoaşterea mai adîncă şi mai vastă a soartei unor sisteme din ce în ce mai complicate. Totuşi fizica a ieşit din cadrele gîndirii mecaniciste. Dezvoltarea ei a pornit, în ciuda prevederilor multor fizicieni şi filozofi, într-o direcţie nouă şi neaşteptată.

Statistica

În teoria cinetică a materiei, Maxwell foloseşte pentru prima oară metode de gîndire statistice şi nu mecaniciste. Aceste metode, datorită lucrărilor lui Boltzmann, Smoluchowski, Gibbs şi multor alţi cercetători, pătrund în capitole din ce în ce mai numeroase şi mai vaste ale fizicii. Pe aceste metode se bazează teoria cinetică a materiei, mecanica statistică, teoria radiaţiilor şi mecanica contemporană a cuantelor.

În ce constă folosirea metodelor statistice în fizică? Pentru a răspunde la această întrebare, să analizăm pe scurt un exemplu care n-are de altfel nimic comun cu fizica.

Vrem să posedăm date cît mai precise despre populaţia Poloniei în decursul ultimului deceniu. Am putea proceda în felul următor: cercetăm biografia fiecărui locuitor în parte care a trăit în Polonia în cursul acestui deceniu. Am obţine în felul acesta o lucrare de dimensiuni enorme. Chiar dacă am reuşi s-o citim, n-am fi în stare să scoatem din ea nici o concluzie, ea nu ne-ar duce la nici un fel de concepţie generală asupra populaţiei ţării noastre. Trebuie să pornim de la un punct de vedere cu totul diferit. El constă

în precizarea netă a ce vrem să aflăm despre populaţie şi în folosirea unei metode cît mai adecvate pentru scopul nostru. Ne interesează de exemplu, problema creşterii populaţiei ţării. Aceasta nu înseamnă că vrem să aflăm dacă în familia *x* sau *y* s-a născut un fiu sau o fiică, dar vrem să cunoaştem ce valoare medie are creşterea populaţiei din Polonia, cîţi copii s-au născut în fiecare regiune, cîţi copii s-au născut de sex masculin şi cîţi de sex feminin. Pentru aceasta este nevoie să introducem statistica. În statistică grupăm indivizii pe baza unor anumite caractere comune, neglijînd toate celelalte caractere care-i deosebesc. Cînd căutăm date privind o colectivitate formată dintr-un număr foarte mare de indivizi, trebuie să punem întrebarea în mod foarte judicios, pentru a-i putea găsi un răspuns. Deci dintr-o carte care tratează, de exemplu, despre populaţia Poloniei, putem să aflăm cîţi muncitori erau ocupaţi într-o anumită perioadă de timp în industria metalurgică, dar nu vom afla, de exemplu, cîţi bărbaţi nu-şi rădeau mustăţile.

Să ne întoarcem înapoi la fizică. Avem un gaz închis într-un vas oarecare. Fizica experimentală cunoaşte un număr de legi ştiinţifice care guvernează comportarea unui gaz. Ele rezultă din teoria după care acest gaz constă dintr-un număr uriaş de molecule care se mişcă rapid în diferite sensuri, se ciocnesc, sar înapoi şi descriu nişte linii frînte fantastice. Iată schema generală a tabloului pe care ni-l înfăţişează teoria cinetică a gazelor, dezvoltată în secolul trecut de Maxwell şi Boltzmann. Dacă am vrea să folosim pentru descrierea mişcării moleculelor metoda mecanicistă, ar trebui să începem raţionamentul cu stabilirea stării iniţiale, adică a poziţiilor şi vitezelor iniţiale ale tuturor moleculelor. Chiar dacă am reuşi să stabilim prin măsurători această stare iniţială, n-am putea folosi rezultatul obţinut. Presupunem că pentru determinarea poziţiei şi vitezei, care definesc starea unei molecule, avem nevoie de o secundă. În cazul acesta pentru determinarea poziţiilor şi vitezelor moleculelor conţinute într-un centimetru cub de gaz, chiar dacă ar face-o toţi oamenii de pe glob, ar fi nevoie de sute de ani! Ce să mai spunem atunci cînd, folosind legile mecanicii clasice, am vrea să calculăm starea acestui gaz în momentul următor!

Prin urmare trebuie să înlocuim metodele deterministe, a căror aplicare este imposibilă în teoria cinetică a gazelor, cu metodele statistice. Aplicarea metodelor statistice nu cere cunoaşterea precisă a stărilor iniţiale. Dar această necunoaştere a stării iniţiale trebuie s-o plătim cu imposibilitatea de a prezice starea finală. Cunoaştem mai puţin despre un anumit sistem la un moment dat, prin urmare putem spune mai puţin despre soarta lui în trecut şi în viitor. Ca să ne exprimăm mai precis, nu ne interesăm aici de acele probleme de care ne-am interesat înainte. Nu ne interesează soarta fiecărei molecule în parte. Problemele pentru care căutăm soluţii prezintă de astă dată un caracter cu totul deosebit. Nu ne mai întrebăm ce viteză sau ce poziţie are cutare sau cutare moleculă, deoarece răspunsul la această întrebare este în afara sferei interesului nostru. Sîntem în stare ca în schimb, folosind metodele statisticii, să rezolvăm, de exemplu, următoarea problemă: Cîte molecule prezintă o *viteză medie* între 300—310 m/s? Ce drum liber străbate în medie o moleculă de la o ciocnire la alta? Nu cunoaştem stările individuale ale moleculelor şi nici nu ne interesăm de ele. Totdeauna căutăm *valori medii*, care caracterizează întreaga grupare. Este firesc că punerea unor astfel de probleme, prin urmare şi folosirea metodelor statisticii, are un sens precis numai atunci cînd sistemul dat cuprinde un număr foarte mare de indivizi.

Metodele statistice nu ne dezvăluie soarta din trecut şi din viitor a sistemelor, ne permit totuşi — cu mai puţină siguranţă şi precizie decît metodele deterministe — să tragem concluzii cu privire la viitorul probabil al sistemului. Nu putem răspunde la întrebarea, care va fi starea sistemului într-o anumită clipă, dar vom putea afla probabilitatea unei anumite stări într-un moment dat. Prin urmare, şi în acest caz starea întregului sistem *nu se schimbă la întîmplare*, ci în conformitate cu anumite legi bine definite. Nu putem spune nimic despre un fenomen izolat, dar putem obţine concluzii şi preziceri privind un grup mare de fenomene. Ca să lămurim mai bine această idee, să cităm aici un exemplu izolat.

În cazinoul din Monte Carlo, crupierul aruncă în acest moment o bilă, care în curînd va decide cîştigurile sau pierderile jucătorilor. Cineva care cunoaşte precis poziţia şi

viteza inițială a bilei cît și legile fizicii care guvernează mișcările acesteia și ar putea prevedea precis unde va cădea bila în cele din urmă, n-ar mai urmări cu priviri febrile desfășurarea mișcărilor bilei. Tot jocul i-ar apare ca o petrecere plictisitoare, variată numai de posibilitatea de a cîștiga în mod sigur o sumă oarecare. Dar nimeni nu cunoaște precis nici așezarea inițială, nici legile care guvernează această mișcare. Folosind metodele statistice putem prezice de la început, că bila va cădea, în decurs de o zi, de același număr de ori atît pe roșu cît și pe negru. Această constatare va fi cu atît mai conformă cu experiența, cu cît numărul de jocuri este mai mare. Într-o zi a avut loc la Monte Carlo un fenomen neobișnuit. Bila a căzut de 27 ori la rînd pe roșu. Acest exemplu ne arată că putem aplica legile statistice numai la un număr foarte mare de fenomene întîmplătoare. Nu putem spune niciodată că bila va putea cădea o lună întreagă numai pe roșu. Și totuși acest fenomen n-ar fi imposibil, dar ar fi extrem de puțin probabil.

Revenim acum la fizică. Au trecut peste o sută de ani de cînd botanistul englez Brown a descoperit un fenomen nou, uimitor. Savantul polonez M. Smoluchowski a consacrat acestui fenomen numit „mișcarea browniană" o serie de lucrări frumoase. Aceste lucrări constituie un exemplu clasic de argumentări ale metodei statistice. Ce înțelegem prin mișcare browniană? Este mișcarea unor particule foarte mici suspendate într-un lichid oarecare. Ele tremură neîncetat, împinse și puse în mișcare de moleculele lichidului în care sînt suspendate. Aceste mișcări nu încetează și nu slăbesc aproape niciodată.

Presupunem că cunoaștem starea inițială a unei astfel de particule suspendate în lichid. Cît de lung va fi drumul unei particule în timp de 30 s? Nu sîntem în stare să răspundem la această întrebare. Dar putem prevedea totuși cît de mare va fi deplasarea medie. Smoluchowski găsește pe cale teoretică, că deplasarea medie ar trebui să fie o mărime constantă pentru particulele date, lichidul dat și temperatura dată. Observînd deplasarea efectuată în curs de 30 s de către foarte multe particule (de ex. 2 000), obținem valori deosebite pentru fiecare particulă, dar media unui mare număr de măsurători este o valoare bine determinată de teorie. Într-adevăr, măsurătoarea arată că valoarea medie

a deplasărilor calculată teoretic este conformă cu cea aflată pe baza experiențelor.

Prevederile în concepția statisticii nu se referă la soarta indivizilor izolați dintr-o colectivitate dată. Metodele statistice ne permit să tragem concluzii asupra legilor care conduc un complex de sisteme. Aceste legi sînt satisfăcute cu atît mai precis, cu cît numărul de sisteme asupra cărora efectuăm măsurători este mai mare.

Am caracterizat mai sus diferența existentă între metodele statistice și metodele mecaniciste folosite în fizică. Fizica contemporană se folosește aproape exclusiv de metodele statistice, formulînd legile ei pentru un număr mare de sisteme. Ținem să atragem atenția că aplicarea metodelor statistice limitează mult știința noastră în ceea ce privește viitorul fiecărui sistem în parte. Vedem deci că dezvoltarea științei ne face să devenim mai conștienți de puținele noastre cunoștințe, iar scopul direct pe care și-l fixează știința devine, pe măsura dezvoltării ei, din ce în ce mai specializat pe ramuri.

l teoriei ondulatorii scria în tratatul său despre lu-

)acă deci pe lîngă aceasta, după cum vom analiza în urmează, lumina are nevoie de un anumit timp pentru area sa, va rezulta de aici că mişcarea impusă mastе treptată, prin urmare lumina se propagă cu ajutorul ıţelor şi undelor sferice la fel cum se petrece în cazul lui. Le numesc *unde* din cauza asemănării lor cu undele ıroduc în apă atunci cînd aruncăm o piatră. Aceste ırezintă tocmai aceeaşi propagare treptată în spaţiul ırător, cu toate că aceasta se datoreşte altei cauze loc numai pe o suprafaţă plană".

ıpă părerea lui Huygens lumina este o *mişcare ondula-* ıste deci deplasarea unei anumite stări, *călătoria ener-* *nu a materiei corpusculare.* Vîntul, trecînd pe deasupra or de cereale stîrneşte o undă, care se deplasează pe , cu toate că fiecare spic stă pe loc şi execută numai ii mici. La fel se propagă undele sonore în aer. Mole- aerului vibrează, transmit mişcarea lor moleculelor , producînd unda sonoră care se propagă. Huygens ;e bine greutatea legată de prezentarea radiaţiilor sub ı formă. Fiecare undă se propagă într-un anumit material. Valurile de apă se propagă pe suprafaţa mării, sonore în aer. Care este însă substratul material al r de lumină? Radiaţiile ajung la noi traversînd e spaţii vide dintre planete şi stele. Vidul transmite lumina, materia o deformează şi o modifică. Huygens ıce în ştiinţă concepţia *eterului.* Eterul este acel transparent şi fără greutate în care se scaldă întregul s. Prin ce proprietăţi îşi manifestă eterul existenţa sa? prin una singură şi anume prin aceea că transmite i, că este suportul undelor de lumină în deplasare. eterului în ştiinţă, istoria transformărilor acestei i, este în acelaşi timp istoria uneia din părţile cele teresante şi importante ale fizicii. Astăzi am formula ideea lui Huygens altfel: Huygens observă că trebuie ibuim spaţiului nu numai proprietăţi geometrice. i posedă şi o anumită proprietate fizică. Aceasta este *tatea de a transmite radiaţii.*

Capitolul II

RADIAŢIILE

Cele două teorii asupra

Mobila din camera în care scri
planetele, sorii, toate acestea formea
îngrămădiri de electroni, protoni şi
mentare ale structurii materiei. Lum
şi nebuloase, lămpi şi lumînări
Particulele şi *radiaţiile* sînt două
existenţei materiei în univers. Radiaţi
uriaşe ale universului cu viteza ver
km/s. Fracţiunea de energie, pe care o
în această clipă, va ajunge la pămînt a
Partea cea mai mare a acestei energi
Pămînt, îşi continuă călătoria sa mai
Soarele trimite radiaţii. Pămîntul le ab
corpusculară şi radiaţii există o acţiun
legile ei? În această întrebare simplă a
cea mai esenţială a fizicii. Ştiinţa de
pe baza imaginii făurite despre structu
ilor să înţeleagă complexitatea acţiu
materia corpusculară şi radiaţii.

Ce sînt radiaţiile? În secolul al
făureau bazele edificiului fizicii, găsi
a răspunde ştiinţific la această întreba
teorii, care se contrazic: teoria ondul
şi teoria emisiunii corpusculare a l

auto
min

cele
prop
terie
supr
sune
ce se
unde
înco
şi ar

torie
giei
lanu
ogoa
oscil
cule
veci
înţel
aceas
medi
unde
unde
uriaş
perfe
intro
medi
unive
Num
radia
Rolu
noţiu
mai i
poate
să a
El m
capac

Newton desfăşoară în faţa noastră un tablou cu totul diferit al radiaţiilor. Lumina este mişcarea unor proiectile zburînd în linie dreaptă şi aruncate de corpul luminos cu o viteză uriaşă de 300 000 km/s fiind prin urmare o mişcare a materiei corpusculare. În opera sa „Optica", care cuprinde o bogăţie mare de date noi şi importante din domeniul ştiinţei despre lumină, Newton polemizează împotriva ipotezelor teoriei ondulatorii:

„Cînd valurile ridicate pe suprafaţa unei ape liniştite trec pe lîngă marginile unei bariere, ele ocolesc bariera, adică deviază şi se propagă dincolo de ea în apa liniştită. De asemenea şi undele sonore cît şi vibraţiile aerului, care formează sunetul, suferă evident o deviaţie, deşi nu atît de puternică, ca aceea a valurilor apei. Astfel un clopot sau un tun poate fi auzit dincolo de un deal, care nu permite să vedem corpul emiţător de sunete, iar sunetele muzicale se propagă tot atît de uşor în tuburile sonore curbate ca şi în cele drepte. Dar în ce priveşte lumina, nu observăm niciodată, ca ea să se propage pe linii curbe sau să sufere o deviere spre interiorul umbrei".

Newton a înţeles că fenomenul unei umbre nete pledează pentru propagarea luminii în linie dreaptă şi împotriva teoriei ondulatorii. El formulează cu precauţie, teoria sa corpusculară asupra luminii:

„Nu cumva razele de lumină sînt alcătuite din nişte corpuscule foarte mici emanate de corpurile luminoase? Astfel de corpuscule s-ar deplasa anume într-un mediu omogen în linie dreaptă, fără a suferi vreo deviere spre interiorul umbrei, ceea ce tocmai este caracteristic pentru natura luminii. Ele pot prezenta diferite caracteristici pe care le pot păstra neschimbate la trecerea prin multe medii, ceea ce are loc de asemenea în cazul razelor de lumină".

Pe care dintre cele două teorii asupra luminii să o alegem: pe cea ondulatorie a lui Huygens sau pe cea a emisiunii corpusculare a lui Newton? Să ascultăm, pentru aceasta, discuţia dintre două personaje fictive, doi partizani ai acestor teorii atît de diferite:

„*Partizanul teoriei emisiunii corpusculare*: Datele experienţelor pledează în contra teoriei ondulatorii, dar sînt în concordanţă cu teoria emisiunii. Iată un exemplu: foaia de hîrtie pusă în faţa lumînării dă pe perete o umbră netă,

precis conturată. Fenomenul umbrei n-ar putea să apară dacă teoria ondulatorie a luminii ar fi adevărată".

„*Partizanul teoriei ondulatorii*: Aceste argumente nu-s convingătoare. Să ne închipuim nişte valuri *scurte* pe rîu şi o navă *mare* fluvială. Valurile stîrnite dintr-o parte a navei nu vor trece de partea cealaltă a ei. Vom obţine şi aici un spaţiu fără valuri, spaţiul umbrei. Foaia de hîrtie joacă aici parcă rolul unei nave mari. Undele de lumină emise de o lumînare pot fi foarte scurte şi de aceea observăm fenomenul unei umbre distincte".

„*Partizanul teoriei emisiunii corpusculare*: De acord. Înlocuieşte însă nava cu o luntre mică sau cu un butuc de copac şi valurile ridicate dintr-o parte vor trece şi de cealaltă. Va dispare fenomenul umbrei. În cazul luminii însă vei obţine umbra totdeauna, chiar atunci cînd obstacolele şi deschizăturile sînt foarte mici".

„*Partizanul teoriei ondulatorii*: Nu am de loc această siguranţă. Cred, mai degrabă, că fenomenul unei umbre nete nu va apare în cazul unor obstacole foarte mici. Pot exista greutăţi mari în experimentare; dacă undele sînt foarte scurte, atunci şi obstacolele trebuie să fie extrem de mici pentru ca să apară acel efect al inflexiunii razelor de lumină".

„*Partizanul teoriei emisiunii corpusculare*: Sînt de acord cu faptul că teoria ondulatorie duce la concluzii noi, care pînă acuma n-au fost confirmate de experienţă. Cîtă vreme experienţa nu va arăta precis că există fenomenul inflexiunii luminii, eu rămîn de partea teoriei mele a emisiunii corpusculare, căci îmi pare mai simplă şi mai frumoasă decît teoria ondulatorie".

Am ajuns deci la acel punct, în care trebuie să dăm experienţei cuvîntul decisiv. Experienţa şi-a dat însă verdictul abia după o sută de ani de la începerea discuţiei. În prima jumătate a secolului al XIX-lea Young şi Fresnel au realizat experienţa cu inflexiunea razelor de lumină, iar Fresnel a consacrat multe lucrări teoretice frumoase pentru explicarea acestui fenomen.

Să ne închipuim o deschidere mică de formă dreptunghiulară pusă în faţa sursei de lumină. Fig. 1 ne prezintă imaginea inflexiunii razelor de lumină formată pe ecran după trecerea lor prin fantă. Pe fotografie vedem chiar la

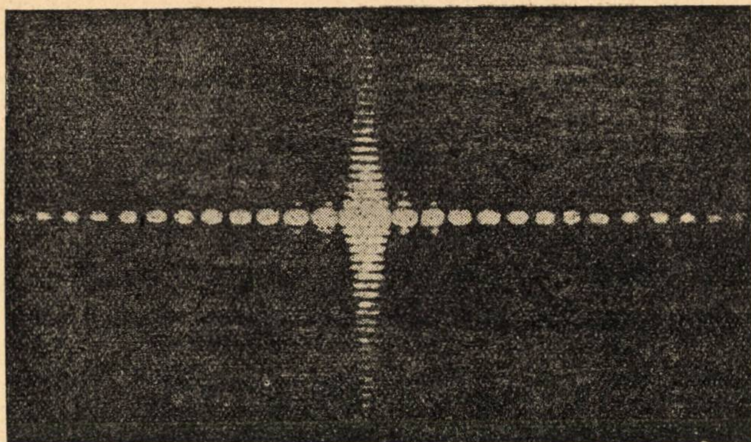


Fig. 1 Inflexiunea razelor de lumină după trecerea lor printr-o fontă mică dreptunghiulară

mijloc un contur distinct al dreptunghiului. Această imagine luminoasă a fantei trece treptat în fondul negru prin benzi alternativ luminoase şi întunecoase. Formarea acestor benzi, rînd pe rînd luminoase şi întunecoase, în locul unei umbre cu contururi nete este caracteristică pentru teoria ondulatorie. Acest fenomen, numit difracţie, este o concluzie esenţială rezultată din această teorie şi ar fi cu totul de neînţeles pe baza teoriei emisiunii corpusculare. Experienţele fizicii din secolul al XIX-lea au hotărît verdictul în favoarea teoriei ondulatorii şi împotriva teoriei emisiunii corpusculare.

Extinderea spectrului

O caracteristică importantă a undelor este lungimea lor de undă. Avem, de exemplu, valurile unei ape. Lungimea de undă este distanţa de la adîncitura unui val oarecare la adîncitura valului următor sau distanţa de la creasta unui val, la creasta valului imediat vecin. Valurile fluviale prezintă o lungime de undă mică în raport cu valurile mărilor sau oceanelor. Undele sonore scurte (adică de lungime de undă mică) corespund unor tonuri înalte, stridente. Undele

sonore lungi produc sunete joase. Formulăm următoarea întrebare: Prin ce se deosebesc undele luminoase de lungimi diferite? Există oare în optică o noţiune analogă cu înălţimea sunetelor? Pentru a răspunde la această întrebare trebuie să amintim măcar în cîteva cuvinte experienţele lui Newton în legătură cu problema analizei şi sintezei luminii.

Într-un fascicul de raze de lumină solară lăsat să treacă printr-o prismă de sticlă observăm un sistem de raze colorate, spectrul solar. În el se găsesc toate culorile care strălucesc şi scînteiază în lumea vizibilă. Aceeaşi experienţă natura o mai realizează în fenomenul splendid al curcubeului. La cele două capete ale spectrului vedem întotdeauna aceleaşi două culori diferite: roşul şi violetul.

Într-un fascicul de raze de lumină emise de soare există toate culorile Ele trec împreună prin spaţiile interplanetare şi prin aer, adică se propagă în spaţiu împreună, dîndu-ne impresia luminii albe. În sticla prismei însă fiecare culoare capătă altă viteză. De aceea prisma descompune lumina albă în componentele ei mai simple, adică în diferite culori, făcînd aşa-numita analiză a luminii. Suprapunerea tuturor culorilor spectrului ne va da din nou lumina albă. Să ne închipuim o bandă îngustă a spectrului, o bandă îngustă a luminii, care cuprinde numai o culoare. Obţinem astfel lumina omogenă, lumina care nu va fi descompusă de prismă în alte componente. Fiecare culoare a spectrului constituie lumina omogenă, adică lumina cea mai simplă, monocromatică, care nu mai poate fi descompusă şi în alte componente ale luminii albe.

Să revenim pentru moment la fig 1. Să presupunem că sursa de lumină, pe care am pus-o în faţa deschiderii dreptunghiulare, este o sursă de lumină omogenă (de exemplu: sodiul arzînd emite o lumină omogenă galbenă). Obţinem atunci acele benzi alternativ luminoase şi întunecate de intensitate din ce în ce mai mică. (Lumina albă neomogenă va da naştere unui fenomen în culori cu mult mai complicat). Am spus înainte că efectul acesta este prevăzut de teoria ondulatorie, pentru care lumina constă în propagarea undelor în spaţiu. Mai mult, teoria descoperă legătura între lungimea de undă şi distanţa reciprocă dintre benzile luminoase. Dispunem deci de o metodă experimentală, care ne

va permite să calculăm lungimea de undă a unei lumini omogene. Concluzia la care ne duc aceste măsurători și altele similare, ajunse ulterior la o finețe deosebită, este următoarea: *fiecărei culori îi corespunde o lungime de undă bine determinată.* În știința despre sunete, la diferite lungimi ale undei sonore corespund diferite înălțimi ale sunetelor. În știința despre radiații, diferitelor lungimi de undă luminoasă le corespund diferite culori de lumină omogenă.

Ce lungimi de undă au undele corespunzătoare celor două margini ale spectrului, deci celor două culori roșie și violetă? Presupunem, pe bună dreptate, că aceste lungimi de undă vor fi foarte mici. Fenomenul umbrei, deci fenomenul propagării luminii în linie dreaptă, îl observăm numai datorită faptului că toate obstacolele și orificiile cu care avem de-a face de obicei, sînt enorm de mari în raport cu lungimea undelor de lumină. Realizarea fenomenului difracției luminii cere construirea unor obstacole și unor deschideri foarte mici. Abia atunci lumina scoate la iveală natura ei ondulatorie. Acest fapt a făcut să întîrzie cu o sută de ani victoria teoriei ondulatorii asupra celei corpusculare.

Ca să putem însemna comod lungimile undelor luminoase, introducem o unitate nouă de lungime cu mult mai mică decît milimetrul. Aceasta este Ångström-ul. Un milimetru este egal cu zece milioane de Ångströmi:

10 000 000 Ångströmi = 1 milimetru

Spectrul vizibil se întinde (aproximativ) de la 8 000 pînă la 4 000 Ångströmi. Capătul roșu al spectrului are cea mai mare lungime de undă și anume 8 000 Å (de acum încolo vom scrie prescurtat Å în loc de Ångström), capătul violet al spectrului are lungimea de undă de 4 000 Å. Astăzi știm că spectrul vizibil cuprinde numai o regiune extraordinar de mică din spectrul radiațiilor. Spațiul este străbătut de radiații care în esența lor diferă aparent de lumina vizibilă, dar din punctul de vedere al fizicii această diferență constă numai în aceea că lungimea acestor radiații nu se cuprinde între limitele celor 4 000—8 000 Å. Lumea strălucește în culori pe care ochiul nostru nu le sezisează. Clișeul fotografic reacționează de asemenea la radiații

care se află dincolo de capătul violet al spectrului, adică la radiaţii cu o lungime de undă mai mică de 4 000 Å. Instrumentele fizicii fac ca simţurile noastre să devină mai fine şi dezvăluie în faţa noastră o lume nouă de culori. Am măsurat şi am recunoscut un domeniu vast al radiaţiilor ultraviolete, ale căror lungimi de undă se întind de la 4 000 pînă la cîteva zeci de Å. Dar cu asta nu s-a isprăvit. Astăzi ştim că de la radiaţiile ultraviolete se trece fără discontinuitate la razele Roentgen. Singura diferenţă între radiaţiile ultraviolete şi razele Roentgen constă exclusiv în faptul că lungimile de undă sînt diferite. Razele Roentgen sînt „mai dure" decît cele ultraviolete. Cuvîntul „mai dure" înseamnă, că lungimea undei lor este mai mică. Cele mai dure raze Roentgen posedă lungimi de undă de ordinul sutimilor de Ångström.

Totuşi n-am ajuns încă la limitele cunoaşterii noastre. Dincolo de banda razelor Roentgen se află un domeniu de radiaţii şi mai dure, domeniul razelor gamma. Ele sînt emise spontan de către corpurile radioactive (de exemplu radiu) şi nu avem nici o posibilitate de a împiedica această emanare a razelor, de a o slăbi sau a o întări. Aceste radiaţii ne duc la lungimi de undă de ordinul miimilor de Å sau şi mai scurte. În sfîrşit, amintim radiaţiile cosmice. Existenţa lor a fost constatată peste tot: pe sol, la munte, în stratosferă, în adîncimile lacurilor şi mărilor, la orice latitudine geografică, la orice oră din zi şi din noapte. Unele din componentele radiaţiilor cosmice sînt nişte raze şi mai scurte decît razele gamma.

Să consacrăm acum cîteva cuvinte şi celeilalte părţi a spectrului, razelor cu lungimea de undă mai mare decît 8 000 Å. Deosebim acolo două regiuni. Prima este regiunea razelor infraroşii, razelor calorice, care se întind de la 8 000 Å pînă la zecimi de milimetru. Regiunea a doua cuprinde radiaţiile electromagnetice. Cele mai scurte unde electromagnetice intră în cuprinsul spectrului infraroşu, cele mai lungi ajung la mii de kilometri. Aceste radiaţii nu ne sînt străine. Undele cu lungimi centimetrice se folosesc la instalaţiile de radar cunoscute din timpul războiului. Undele cu lungimi de la cîţiva metri pînă la cîţiva kilometri sînt undele radio atît de cunoscute de noi. Cu ajutorul lor prindem în aparatele noastre de radiorecepţie cuvinte şi sunete

provenite din cele mai îndepărtate regiuni ale pămîntului nostru. Cele mai scurte din aceste unde se aplică în televiziune. Telefonia se foloseşte de unde cu o lungime de mai mulţi kilometri. În sfîrşit, trecerea noastră în revistă se încheie cu undele curentului alternativ obişnuit, ale căror lungimi ajung la mai multe mii de kilometri.

Să prezentăm, în rezumat, toate părţile spectrului cunoscute de noi:

1) Curentul alternativ	lungimea de undă de la	20 000 km—1 000 km
2) Telefonia	„ „ „ „ „	1 000 km — 10 km
3) Undele radio şi radar	„ „ „ „ „	10 km — 0,1 mm
4) Spectrul infraroşu	„ „ „ „ „	0,1 mm — 8 000 Å
5) Spectrul vizibil	„ „ „ „ „	8 000 Å — 4 000 Å
6) Spectrul ultraviolet	„ „ „ „ „	4 000 Å— 100 Å
7) Razele Roentgen	„ „ „ „ „	10 Å — 0,01 Å
8) Razele gamma	„ „ „ „ „	1 Å — 0,001 Å
9) Razele cosmice	„ „ „ „ „	0,0001 Å...

Limitele diferitelor părţi ale spectrului nu sînt precizate şi adeseori se suprapun. Ele se mai schimbă şi cu dezvoltarea tehnicii de producere a razelor şi de detectare a radiaţiilor care apar în natură. Ne uimeşte fără îndoială în lista de mai sus următorul fapt. Am aşezat undele electromagnetice, de exemplu unde radio, alături de undele optice. Avem oare motive satisfăcătoare să afirmăm că ele se deosebesc numai prin lungimea de undă? Fenomenele electrice şi optice aparţin, s-ar părea, la două categorii de fenomene cu totul diferite. Ca să răspundem la această întrebare, trebuie să facem cunoştinţă cu celelalte peripeţii ale teoriei luminii. Soarta acestei teorii este strîns legată de istoricul dezvoltării ştiinţei despre electricitate.

În anul 1931 Anglia, şi cu ea lumea întreagă, a sărbătorit o dublă aniversare. Au trecut o sută de ani de la clipa în care unul din fizicienii cei mai geniali, Michael Faraday, fostă calfă la o legătorie de cărţi, a descoperit fenomenul inducţiei electrice şi tot o sută de ani de la naşterea lui James Clerk Maxwell. Faraday şi Maxwell au pus temeliile ştiinţei contemporane despre electricitate. În dezvoltarea ei iniţială ştiinţa despre electricitate îşi modelează concepţiile şi metodele sale pe baza mecanicii clasice, pe atunci deja dezvoltată. Faraday creează în această ştiinţă metode noi şi adînci de gîndire, descoperă noi legi bazate pe

experiență, a căror consecință este dezvoltarea uriașă a tehnicii contemporane.

Să ne închipuim două sarcini electrice depărtate între ele. Vrem să descriem influența lor reciprocă. După exemplul lui Faraday o facem cu ajutorul noțiunilor care caracterizează particularitățile cîmpului aflat între cele două sarcini. Să presupunem că una din aceste sarcini vibrează. În acest caz, cîmpul electric în imediata vecinătate a sarcinii, variază. *Această variație*, spune Faraday, *se propagă din ce în ce mai departe*, la fel cum o undă formează cercuri din ce în ce mai largi și se propagă cu o viteză uriașă, dar totuși, finită. Maxwell a îmbrăcat teoria lui Faraday într-o formă matematică frumoasă și clară. Limbajul precis al matematicii permite în continuare noi deducții. Să ne închipuim încă o dată sarcina electrică vibrînd. Maxwell ajunge la concluzia că *variația cîmpului electric este sursa unei unde electromagnetice* și că viteza de propagare a acestei unde ar trebui să fie exact egală cu viteza luminii. Mai mult: după părerea lui Maxwell, *unda de lumină este tocmai o undă electromagnetică*. În felul acesta s-a realizat o sinteză mare între două capitole ale științei. *Știința despre lumină devine un capitol al științei despre electricitate*. Maxwell prevede date noi ale experienței. *Există unde electromagnetice și viteza lor este egală cu viteza luminii*. Unda de lumină este o undă electromagnetică scurtă. (De aici rezultă că proprietățile optice ale corpurilor sînt strîns legate de proprietățile lor electrice, de exemplu indicele de refracție și constanta dielectrică). Oare experiența confirmă aceste concluzii? În anul 1887 fizicianul *Heinrich Hertz* tînăr pe atunci și mort prematur ceva mai tîrziu, *stabilește experimental existența undelor electromagnetice*, măsoară lungimea lor, și *stabilește că viteza de propagare a acestor unde este egală cu viteza luminii*. Aici întîlnim iarăși acele două trăsături atît de caracteristice în istoria dezvoltării științei: prezicerea unor anumite fapte *pe calea teoretică* și confirmarea acestei preziceri *cu ajutorul experienței*. Ca să înțelegem importanța acestor descoperiri, valoarea succesului realizat de știință, ajunge să ne gîndim ce rol joacă în viața noastră de astăzi radioul, televiziunea, telegraful, radarul și alte invenții importante, care se folosesc de undele electromagnetice.

Geneza teoriei cuantelor

Ideile mari, teoriile noi, iau naştere pe baza conflictelor tragice, a încurcăturilor şi contradicţiilor, din care s-ar părea că ştiinţa nu va găsi nici o ieşire. În felul acesta au luat naştere în ştiinţă două din cele mai mari teorii ale secolului al XX-lea: *teoria relativităţii* şi *teoria cuantelor*. Limbajul fizicii de astăzi este limbajul matematic. Fizica se dezvoltă folosindu-se de toate cuceririle matematicii şi *la rîndul ei, punînd ea însăşi probleme în faţa matematicii, determină dezvoltarea acesteia*. Nu se pot înţelege adînc teoriile de astăzi ale fizicii fără cunoaşterea metodelor matematicii superioare. Tabloul schiţat în această carte ne va da numai înţelegerea cea mai generală a trăsăturilor respectivelor teorii. Noi ne propunem în cele de faţă acest ţel modest, încercînd să prezentăm evoluţia teoriei cuantelor.

Ce fel de problemă fizică a determinat geneza teoriei cuantelor? Să revenim încă o dată la spectrul soarelui. Să ne limităm la partea lui vizibilă. Între capătul roşu şi cel violet, găsim în acest spectru toate culorile luminii vizibile. Soarele este o sursă de energie radiantă. Această energie este dispersată, împrăştiată prin unde de diferite lungimi de undă. Fiecare porţiune a spectrului, fiecare culoare duce cu sine o anumită parte a acestei energii. Să împărţim spectrul în 10 părţi. Cîtă energie duce fiecare din ele? Cîtă energie este în partea a 3-a şi cîtă în partea a 7-a? Cu alte cuvinte: cum se prezintă distribuţia energetică a radiaţiei solare în diferite părţi ale spectrului? Dacă am vrea să găsim un răspuns mai precis la această întrebare, am fi nevoiţi să împărţim spectrul într-un număr mai mare de părţi, de exemplu în o sută sau o mie de benzi înguste, şi să le cercetăm pe fiecare. Problema formulată în acest fel este deci o problemă exprimentală. Ce răspuns ne-a dat experienţa? Acest răspuns este prezentat grafic în fig. 2. Vedem numere care exprimă lungimile de undă, iar deasupra lor o curbă care reprezintă distribuţia energetică a spectrului. În punctele în care această curbă are cea mai mare înălţime, energia repartizată în regiunea respectivă a spectrului are cea mai mare valoare. La această curbă observăm că regiunea culorii albastre (lungimea de undă 4 800 Å) este proporţional cea mai bine înzestrată

cu energie. Domeniul roşu al spectrului este sărac în energie. Temperatura suprafeţei Soarelui este foarte ridicată. Ea ajunge la aproximativ 6 000°C. Se pune întrebarea: cum s-ar modifica distribuţia energetică a spectrului, dacă temperatura corpului care emite radiaţii ar scădea? Experienţa găseşte un răspuns şi la această întrebare.

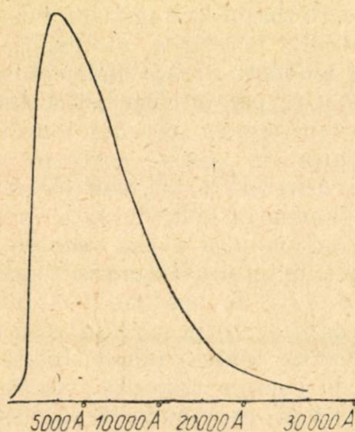


Fig. 2 Distribuţia energetică a spectrului solar

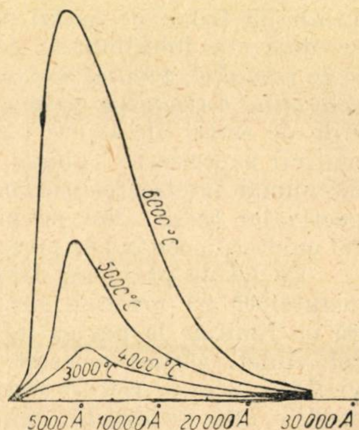


Fig. 3 Distribuţia energetică a spectrului corpurilor la diferite temperaturi

Putem crea sori în miniatură, mai reci, corpuri care emit toate genurile de radiaţii şi sîntem în stare să cercetăm distribuţia energetică a acestor spectre la temperaturi mai joase. În fig. 3 vedem graficul care prezintă distribuţia energetică la temperaturi diferite. Observăm că energia emisă de corpul respectiv scade o dată cu temperatura. (Alături de fiecare curbă este notată temperatura corespunzătoare acesteia). Dar din grafic mai rezultă încă o concluzie foarte interesantă. Vedem că lungimea undei corespunzătoare celei mai mari energii se deplasează din ce în ce mai mult spre spectrul roşu, pe măsură ce scade temperatura. *La temperatura de 6 000°C (temperatura soarelui) cea mai mare energie corespunde regiunii culorii albastre,* în schimb la temperatura de 3 000°C ea este deplasată vizibil spre roşu. Distribuţia energetică a spectrului

depinde de doi factori. Primul este *lungimea de undă*. Diferitele regiuni ale spectrului prezintă energii diferite. Dar această distribuţie mai depinde de asemenea de factorul al doilea, de *temperatura corpului* care emite radiaţii. Acest fapt îl exprimăm în felul următor: *energia radiantă este în funcţie de lungimea de undă şi de temperatură.*

Legile de care am pomenit, graficele pe care le-am prezentat aici, reprezintă rezultatul, nu al consideraţiilor teoretice, *ci al cercetărilor experimentale.* Teoria nu ne-a arătat legile distribuţiei energetice a spectrului; să căutăm acuma în ea explicarea faptelor experimentale cunoscute. Oare teoria electromagnetică a luminii ne explică distribuţia energetică a spectrului? Putem oare înţelege aceste legi pe baza teoriei electronice cunoscute pe atunci (spre sfîrşitul secolului al XIX-lea)? Nu cumva pe calea consideraţiilor statistice vom obţine explicarea acestor legi? Răspunsurile la aceste întrebări au fost negative. Toate consideraţiile bazate pe teoriile cunoscute pe atunci au dus la aceeaşi concluzie, în discordanţă cu experienţa. Nimeni n-a fost în stare să explice pe cale teoretică formele curbelor înfăţişate în fig. 2 şi 3. Tocmai din acest conflict tragic, din această sfîşiere adîncă în ştiinţă, din această contradicţie între teorie şi experienţă, s-a născut *teoria cuantelor*. Data naşterii a fost ziua de 14 decembrie 1900. Chiar în această zi, Max Planck prezenta lucrarea sa „Societăţii Germane de Fizică“ din Berlin. Teoria cuantelor este *un produs al secolului al XX-lea*. Ea a pus o amprentă fundamentală pe fizica de astăzi, formînd prima etapă în revoluţia acestei ştiinţe.

Ideea discontinuităţii

Să analizăm un exemplu care n-are nimic comun cu fizica. O uzină are 200 de muncitori şi produce 300 tone de oţel zilnic. Însă cererea de oţel creşte. Pentru a o satisface, să zicem că numărul de muncitori trebuie să crească în curs de o jumătate de an la 300, determinînd bineînţeles creşterea concomitentă a producţiei. Numărul de muncitori ocupaţi în uzină se va schimba deci în cursul unei jumătăţi de an.Oare acest număr va creşte în mod continuu? Putem oare să ne închipuim, de exemplu, că într-o bună zi, el va

fi de 237,4264? Fireşte că nu. *Acest număr va fi totdeauna un număr întreg.* La noţiunea de muncitori putem alătura numai noţiunea de *număr întreg.* Numărul muncitorilor se poate schimba deci numai *în salturi*, adică *în mod discontinuu*, prin cantităţi *discrete* şi *indivizibile.*

Un caracter cu totul deosebit îl prezintă numărul prin care se exprimă, de exemplu, *producţia de oţel.* Să zicem că vrem s-o ridicăm la 426,5372 tone. Această propoziţie are un sens bine definit. Producţia oţelului *poate suferi schimbări în mod continuu.*

La fel este şi în fizică. Aici întîlnim ideea de schimbare continuă dar şi ideea de schimbare în mod discontinuu, adică prin cantităţi discrete, sau salturi. Aşa, de exemplu, timpul şi spaţiul sînt mărimi care variază în mod continuu. Răspunsul la întrebarea: „cîţi atomi cuprinde un litru dintr-un gaz dat?", este un număr întreg. Acest număr nu poate să se schimbe în mod continuu. Fizica clasică lucrează cu mărimi continui. Timpul, spaţiul, masa, forţa, energia, noţiuni de bază ale mecanicii clasice, sînt mărimi care se schimbă totdeauna în mod continuu. Nici nu ne-am putea închipui un alt mod de a lucra cu aceste noţiuni în mecanica clasică, nu am putea exprima ecuaţiile de bază ale mecanicii lui Newton, fără a porni de la premisa caracterului de continuitate al acestor mărimi.

Prima breşă pe care dezvoltarea atomisticii o face în concepţia clasică a continuităţii, datează din secolul al XIX-lea; materia prezintă o structură discontinuă, discretă. Hidrogenul închis într-un vas prezintă un număr uriaş, *dar întreg*, de atomi. Imaginea materiei pe care ne-o înfăţişează teoria atomistică ne permite să calculăm masa unui atom de hidrogen. Ea este atît de mică, încît dacă vrem s-o exprimăm în grame, sîntem nevoiţi să punem după zero şi virgulă 23 de zerouri şi abia după aceea prima cifră semnificativă, adică:

masa atomului de hidrogen = 0,000,000 000 000 000 000 000 001 67 g.

Putem oare să micşorăm o anumită masă de hidrogen cu *jumătate* din masa unui singur atom de hidrogen? Nu! Înţelegem că această schimbare a masei poate să aibă loc *numai în salturi*, adică numai prin cantităţi reprezentate de numere întregi. Cantitatea discretă prin care se poate face

cel mai mic salt la schimbarea masei, este tocmai masa unui atom de hidrogen. Putem să îmbogățim un rezervor cu hidrogen cu un miliard de atomi de hidrogen, dar nu sîntem în stare să adăugăm la un miliard de atomi încă o *jumătate* de atom de hidrogen. Astfel cade prima concepție a mecanicii clasice despre schimbarea continuă a masei materiale. Totuși, în mecanica clasică putem opera mai departe cu masa considerată ca o mărime continuă, pentru că și cele mai fine cîntare ale noastre sînt departe de precizia care ne-ar permite să cîntărim un atom și să descoperim discontinuitatea în schimbarea masei.

O breșă asemănătoare apare mai tîrziu în domeniul electricității. Sarcinile electrice din punctul de vedere al științei din secolul al XIX-lea, la fel ca și masa în mecanica clasică, se pot schimba în mod continuu. Astăzi știm că o serie întreagă de fenomene (electroliza, razele catodice și altele) impun revizuirea fundamentală a acestei concepții. Electricitatea este alcătuită din granule, din cantități discrete, la fel ca o casă din cărămidă sau ca țărmul nisipos al mării din granule de nisip. Electronii sînt tocmai aceste granule discrete, cele mai mici cantități de electricitate negativă. Fiecare *sarcină electrică* negativă *este un multiplu întreg al sarcinii elementare, pe care o reprezintă un electron.* Sarcina electrică, la fel ca și masa, se poate schimba deci numai în mod discontinuu. Sarcina elementară de electricitate este atît de mică, încît în multe considerații este mai comod de a considera această sarcină ca o mărime continuă, la fel ca și masa în mecanica clasică. Teoriile atomistice, teoriile electronice, introduc în știință mărimi fizice discontinui, care se schimbă în salturi.

În ce constă cucerirea reprezentată de teoria cuantelor? Ea introduce în fizica de astăzi o idee îndrăzneață, extinzînd aplicarea noțiunii de discontinuitate într-un mod nou și neașteptat. Nu numai masa, nu numai electricitatea, ci și energia prezintă *o structură granulară*, adică *cuantică!* Alături de cuantele masei, cuantele electricității, există de asemenea și cuantele energiei. Planck introduce ideea discontinuității acolo unde ne-am putea aștepta cel mai puțin și anume la noțiunea de energie.

Corpurile luminoase emit energie radiantă. Materia formată din atomi, deformează și modifică, reflectă, îm-

prăştie sau absoarbe energie radiantă, care cade asupra ei. Planck porneşte de la o premisă de bază. Atît emisia cît şi absorbţia de energie radiantă pot să aibă loc numai sub formă de cuante. Un corp emite sau absoarbe o cantitate de energie radiantă care este *formată totdeauna dintr-un număr întreg de cuante de energie.*

Cît de mari, sau mai degrabă, cît de mici sînt aceste cuante elementare ale energiei? Pentru a răspunde la această întrebare trebuie să stabilim o unitate de măsură a energiei. Ne vom mulţumi cu o definiţie aproximativă, neprecisă. Cînd ridicăm o masă de 1 kg la înălţimea de 1 m de la pămînt, cheltuim o anumită cantitate de energie, pe care o numim *kilogrametru.* Să ne închipuim acum o altă cantitate de energie cam de 100 de milioane de ori mai mică decît kilogrametrul. Obţinem astfel o unitate de măsură a energiei, care în fizică este numită 1 *erg*. Această unitate este atît de mică încît ar putea fi folosită pentru măsurarea muncii unei furnici la construirea muşuroiului. Cu *ergul* ca unitate de energie, putem exprima valoarea granulelor de energie radiantă, adică valoarea cuantelor de energie pe care le absorb sau le emit corpurile în numere totdeauna întregi. Dar şi cu această mică unitate de energie numită *erg*, *o cuantă* de energie radiantă se exprimă printr-un număr fantastic de mic!

Acest lucru nu trebuie să ne mire. Oare am fi putut noi admite în mecanica clasică principiul continuităţii materiei, dacă atomii ei componenţi nu ar fi fost aşa de mici? La fel şi energia radiantă şi-a ţinut ascuns multă vreme caracterul ei cuantic, numai datorită faptului că granulele care o compun sînt foarte mici.

Atomistica electricităţii ne învaţă că *sarcina unui electron* este cea mai mică sarcină de electricitate negativă. Am putea, după stabilirea unor unităţi corespunzătoare, să scriem direct numărul care exprimă valoarea acestei sarcini. S-ar părea că în mod analog putem proceda şi în teoria cuantelor. După cum ştim, am stabilit deja o unitate de energie pe care am numit-o *erg*. S-ar părea deci că putem să definim uşor valoarea cuantei elementare de energie radiantă. Dar problema nu este totuşi atît de simplă. S-o ilustrăm folosind iarăşi un exemplu din viaţa economică.

prăştie sau absoarbe energie radiantă, care cade asupra ei. Planck porneşte de la o premisă de bază. Atît emisia cît şi absorbţia de energie radiantă pot să aibă loc numai sub formă de cuante. Un corp emite sau absoarbe o cantitate de energie radiantă care este *formată totdeauna dintr-un număr întreg de cuante de energie.*

Cît de mari, sau mai degrabă, cît de mici sînt aceste cuante elementare ale energiei? Pentru a răspunde la această întrebare trebuie să stabilim o unitate de măsură a energiei. Ne vom mulţumi cu o definiţie aproximativă, neprecisă. Cînd ridicăm o masă de 1 kg la înălţimea de 1 m de la pămînt, cheltuim o anumită cantitate de energie, pe care o numim *kilogrametru.* Să ne închipuim acum o altă cantitate de energie cam de 100 de milioane de ori mai mică decît kilogrametrul. Obţinem astfel o unitate de măsură a energiei, care în fizică este numită 1 *erg.* Această unitate este atît de mică încît ar putea fi folosită pentru măsurarea muncii unei furnici la construirea muşuroiului. Cu *ergul* ca unitate de energie, putem exprima valoarea granulelor de energie radiantă, adică valoarea cuantelor de energie pe care le absorb sau le emit corpurile în numere totdeauna întregi. Dar şi cu această mică unitate de energie numită *erg, o cuantă* de energie radiantă se exprimă printr-un număr fantastic de mic!

Acest lucru nu trebuie să ne mire. Oare am fi putut noi admite în mecanica clasică principiul continuităţii materiei, dacă atomii ei componenţi nu ar fi fost aşa de mici? La fel şi energia radiantă şi-a ţinut ascuns multă vreme caracterul ei cuantic, numai datorită faptului că granulele care o compun sînt foarte mici.

Atomistica electricităţii ne învaţă că *sarcina unui electron* este cea mai mică sarcină de electricitate negativă. Am putea, după stabilirea unor unităţi corespunzătoare, să scriem direct numărul care exprimă valoarea acestei sarcini. S-ar părea că în mod analog putem proceda şi în teoria cuantelor. După cum ştim, am stabilit deja o unitate de energie pe care am numit-o *erg.* S-ar părea deci că putem să definim uşor valoarea cuantei elementare de energie radiantă. Dar problema nu este totuşi atît de simplă. S-o ilustrăm folosind iarăşi un exemplu din viaţa economică.

Bugetul Poloniei însumează un anumit număr de zloţi şi groşi. Să ne ocupăm aici de o problemă fără nici o importanţă practică, anume problema groşilor, care figurează în acest buget. Groşul este aici unitatea financiară cea mai mică, cuanta elementară a întregului buget; neputînd nici mări nici micşora bugetul cu o jumătate de groş, înseamnă că nu-l putem modifica în mod continuu.

Tot astfel dacă trecem Oceanul Atlantic şi cercetăm bugetul Statelor Unite, găsim că el reprezintă o sumă de dolari şi cenţi. Cuanta elementară a bugetului Statelor Unite nu este groşul ci un cent. Cuanta elementară financiară are aici o valoare mai mare, stabilită prin cursul dolarului şi zlotului. La fel în fiecare stat există o altă cuantă elementară financiară, reprezentată prin unitatea monetară cea mai mică, care diferă de la o ţară la alta.

Presupunem că asupra unui corp care absoarbe energie radiantă, cad două feluri de radiaţii omogene, pe care le considerăm ca fiind cele de la extremităţile spectrului vizibil: un fascicul de raze *roşii* şi un fascicul de raze *violete*. Absorbţia se face prin cuante de energie. Dar cuanta elementară a radiaţiei roşii nu este egală cu cuanta elementară a celei violete. Amintim că razele violete au lungimea de undă de două ori mai mică decît a celor roşii. Cu cît radiaţiile luminoase au lungimi de unde mai mici, cu atît cuantele lor respective sînt mai mari.

Pentru razele *Roentgen*, aceste cuante sînt incomparabil mai mari decît pentru razele *infraroşii*. Întrebarea formulată anterior, cît de mare este o cuantă de energie, o vom înlocui cu întrebarea: cît de mare este cuanta elementară de energie *pentru o anumită radiaţie omogenă, care are o anumită lungime de undă?* Pentru a răspunde la această întrebare, trebuie să cunoaştem un anumit număr fundamental, care apare în toate formulele teoriei cuantelor. Acest număr îl însemnăm cu litera *h* şi îl numim *constanta lui Planck:*

h este deci constanta lui Planck.

Fireşte, acest număr nu este produsul imaginaţiei. Îl obţinem pe baza unor experienţe subtile şi precise, despre care vom spune cîteva cuvinte mai tîrziu. El este un număr extraordinar de mic. După un zero şi virgula zecimală, el

mai cuprinde încă 26 zerouri şi abia după aceea urmează cîteva cifre semnificative, adică

$$h = 0{,}000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 006\ 625 \text{ erg.s}$$

(Aici, trecem cu vederea o anumită problemă esenţială. Cît de mare este valoarea *numărului h?* Renunţînd la citarea valorii exacte a constantei lui Planck comitem conştient un păcat împotriva datoriei de a fi exacţi.)

Din momentul în care cunoaştem numărul *h*, putem afla valoarea cuantei elementare pentru o radiaţie omogenă dată. Ajunge pentru aceasta să cunoaştem lungimea de undă a acestei radiaţii. Această noţiune nu ne este străină. Despre lungimea de undă am mai scris înainte. În formula care va exprima valoarea cuantei de energie va apare încă o constantă universală: viteza de propagare a radiaţiilor în vid; ea este aceeaşi pentru toate felurile de radiaţii şi are valoarea de aproximativ 300 000 km/s. Să exprimăm în cuvinte, cum se calculează cuanta elementară:

Înmulţim constanta h a lui Planck, cu viteza c a luminii în vid şi apoi împărţim rezultatul prin lungimea de undă a radiaţiei respective. Această regulă se poate scrie astfel:

$$\textit{cuanta de energie} = \frac{h \times \textit{viteza luminii în vid}}{\textit{lungimea de undă a radiaţiei}}$$

Această formulă ne arată că într-adevăr, dacă lungimea de undă a radiaţiei considerate este mai scurtă, cuanta de energie elementară corespunzătoare este cu atît mai mare şi invers. Aşadar, energia cuantei elementare este cu atît mai mare cu cît radiaţiile sînt mai dure, mai penetrante.

Definirea acestor granule de energie prezentată aici mai cere o anumită explicaţie. Justeţea acestei formule va depinde de alegerea unităţilor. Unitatea cu ajutorul căreia măsurăm cuantele de energie *este ergul*, definită de noi anterior. Lungimea de undă trebuie totuşi exprimată nu în Angströmi ci pur şi simplu *în centimetri*. În felul acesta numerele care exprimă lungimea de undă (prin care trebuie să împărţim constanta lui Planck) sînt de o sută de milioane de ori mai mici decît cele date înainte. De asemenea şi viteza luminii trebuie exprimată, nu în kilometri pe secundă, ci *în centimetri pe secundă*. Astfel valoarea cea mai precisă a vitezei luminii, se va scrie:

$$\textit{viteza luminii} = 29\ 979\ 290\ 000 \text{ cm/s.}$$

Am arătat mai sus cum se calculează valoarea unei cuante de energie luminoasă pentru o anumită radiaţie omogenă. Cu datele pe care le avem după calculare, putem acum să dăm răspunsul la întrebarea: cîţi ergi are o cuantă de energie *din lumina roşie?*

O cuantă de *lumină roşie* este a patrusutamiliarda parte dintr-un erg!

Deci o granulă de energie a radiaţiei roşii, adică o cuantă roşie este fantastic de mică. Cuanta elementară a radiaţiei violete este de două ori mai mare. Numai 200 de miliarde de astfel de cuante vor forma împreună un erg. Iată deci cele mai mici particule indivizibile ale radiaţiei violete. În razele Roentgen care au lungimea de undă de sute de mii de ori mai mică, cuantele de energie emise sau absorbite sînt tot de atîtea ori mai mari.

Am prezentat mai sus premisele cele mai esenţiale ale teoriei cuantelor. Ele vor apare fără îndoială fantastice şi artificiale. Dar criteriul cel mai important pentru aprecierea teoriei este fertilitatea ei şi bogăţia faptelor pe care le explică. Am amintit mai înainte (pag. 43) o problemă din care a decurs teoria cuantelor. Este problema distribuţiei energiei într-un spectru. Încercăm să deducem pe cale teoretică legea distribuţiei energetice a radiaţiilor în funcţie de lungimea de undă şi de temperatură. Toate încercările şi străduinţele fizicii clasice duceau la rezultate false. Planck face prima breşă importantă în fizica clasică, renunţînd la concepţia continuităţii energiei şi obţine pe calea unei argumentări teoretice foarte subtile şi complexe legea distribuţiei energiei într-un spectru. Experienţa este în perfectă concordanţă cu teoria. Teoria cuantelor înlătură prin urmare un conflict esenţial în ştiinţă, care constă în contradicţia dintre teorie şi experienţă. Oare teoria cuantelor ne prezice şi fenomene noi? În paginile următoare ale cărţii vom demonstra că dezvoltarea ulterioară a teoriei a constituit un marş triumfal prin toate domeniile fizicii. Ideea de bază a teoriei cuantelor, cuprinzînd un domeniu din ce în ce mai vast şi mai bogat de fapte, a pătruns victorioasă în toate capitolele fizicii.

Stabilirea formulei lui Planck, adică a formulei care exprimă distribuţia energetică a radiaţiilor în spectru este foarte complicată şi grea. N-am putea prezenta aici nici

măcar ideea de bază a acestor raționamente. Ele sînt cu mult mai complexe și mai profunde decît considerațiile clasice, care au dus la o lege falsă.

Concepția că natura este simplă, ar fi o concepție falsă. Noi ne luptăm neîncetat cu complexitatea fenomenelor. Părăsim pozițiile cucerite, renunțăm la rezultatele dobîndite, construim teorii din ce în ce mai complicate, deasupra cărora se ridică mereu realitatea și mai complicată. Legile vechi devin numai prime aproximații. Cînd cercetăm fenomenele macrofizice, cînd ne ocupăm de exemplu de legile de mișcare ale unui proiectil sau ale curgerii unui lichid, cînd cercetăm transformările energetice care se petrec într-o fabrică, nu aplicăm teoria cuantelor. Atunci pornim de la ipoteza continuității energiei. Structura subtilă granulară a energiei o scot în evidență abia legile care guvernează acțiunea reciprocă dintre elementele componente ale structurii materiei și radiațiilor.

Cuante de lumină.

În anul 1905 au apărut în „Annalen der Physik" (Analele Fizicii) trei lucrări ale tînărului savant Albert Einstein, care avea pe atunci doar 26 de ani. Una din ele cuprindea ideile *teoriei relativității*. În a doua lucrare Einstein prezenta teoria *mișcărilor browniene* pomenite deja de noi. A treia se referea la *teoria cuantelor* și constituia un important pas înainte în istoria dezvoltării acestei teorii. Ideile acestei lucrări sînt atît de simple în genialitatea lor, încît și noi putem prezenta aici pe cele mai importante dintre ele.

Teoria cuantelor tratează despre procesele de emisie și de absorbție. Radiațiile sînt emise și absorbite sub formă de porțiuni elementare, adică sub formă de cuante. Răspîndirea în spațiu a radiațiilor este însă descrisă în continuare, cu ajutorul *teoriei ondulatorii*. Einstein a ilustrat într-o zi această situație prin următoarea comparație: „Berea din butoi se vinde întotdeauna cu halba; de aici nu rezultă însă că berea există numai în porții indivizibile, care corespund unei halbe". Și iată că Einstein transformă imaginea radiației, adaptînd-o la imaginea emisiei și absorbției creată de teoria cuantelor. Să părăsim pentru moment teoria ondulatorie a luminii și să presupunem, împreună cu

Einstein, că lumina are o structură cuantică granulară, că ea constă din mişcarea cuantelor de energie care se răspîndesc în spaţiu cu viteza luminii. Prin această ipoteză, Einstein reînvie oarecum teoria emisiunii corpusculare a lui Newton, schimbîndu-i forma şi adîncindu-i conţinutul. *Cuantele* de energie luminoasă ale lui Planck înlocuiesc *corpusculele* lui Newton şi sînt denumite de Einstein *fotoni*. *Lumina constă deci din mişcarea fotonilor; fotonul este cuanta elementară a energiei luminoase.* Din clipa în care renunţăm la teoria ondulatorie va dispare şi noţiunea lungimii de undă. Cu ce noţiune o vom înlocui acum? Să scriem formula de bază, „formula magică“ a teoriei cuantelor, aşa cum am făcut mai înainte:

$$\textit{energia fotonului} = \frac{h \times \textit{viteza luminii în vid}}{\textit{lungimea de undă a radiației.}}$$

Această relaţie de bază ne va permite să traducem propoziţiile din vechea terminologie ondulatorie, în propoziţiile teoriei cuantelor de energie radiantă. Să cităm pentru aceasta cîteva propoziţii în ambele terminologii:

Terminologia teorii ondulatorii	*Terminologia teoriei cuantelor*
1) Spectrul vizibil cuprinde unde de diferite *lungimi*.	1) Spectrul vizibil cuprinde fotoni cu *energii* diferite.
2) Lungimea de undă a capătului roşu al spectrului este de două ori *mai mare* decît lungimea undei de la capătul *violet* al spectrului.	2) Energia fotonului, care corespunde capătului roşu al spectrului este de două ori *mai mică* decît energia fotonului culorii *violete*.
3) Radiaţiile omogene prezintă aceeaşi lungime de undă bine precizată.	3) Radiaţiile omogene sînt formate din fotoni identici cu o energie bine precizată.

Dar trecerea de la teoria ondulatorie a radiaţiilor la teoria cuantelor, nu este numai problema uneia sau alteia dintre cele două terminologii. Pînă şi imaginea radiaţiei suferă acum o transformare esenţială. Să ne îndreptăm atenţia asupra spectrului în întreaga lui extindere. Să începem cu radiaţia *infraroşie* a spectrului. Fotonii acestei radiaţii prezintă o energie relativ mică. (În terminologia ondulatorie am fi spus că lungimea de undă a acestei radiaţii este mare). Putem compara fotonii ce o compun cu nişte bile uşoare de vată. Să trecem apoi la spectrul vizibil

Aici fotonii sînt cu mult mai bogați în energie, deci în această regiune ei vor fi comparabili cu niște gloanțe de revolver din ce în ce mai mari. Radiațiile ultraviolete vor fi în acest caz niște gloanțe de carabină, iar razele Roentgen vor fi formate din obuze grele de tun.

Care este motivul ce ne îndeamnă să rupem legătura cu teoria ondulatorie? Există oare un fapt experimental în contradicție cu teoria ondulatorie, dar pe care să-l explice teoria cuantelor de energie radiantă? Vom găsi un răspuns la această întrebare, dacă vom cunoaște un anumit fenomen simplu, așa-numitul *efect fotoelectric*.

Presupunem că pe suprafața unui metal cade o radiație omogenă, de exemplu ultravioletă. Experiența ne arată că această radiație, căzînd pe suprafața metalului, eliberează din metal în anumite condiții (a căror descriere o omitem) un roi de electroni. Acești electroni sînt smulși din metal și zboară ca niște proiectile cu o anumită viteză. Din punct de vedere energetic fenomenul se prezintă simplu. O anumită parte a energiei radiante se transformă în energie de mișcare a electronilor emiși. Metodele moderne de experiență ne permit să înregistrăm aceste proiectile electronice care părăsesc metalul. Putem cerceta viteza lor, deci și energia lor. Ce legătură există între culoarea radiației incidente și energia electronilor expulzați. Ca să nu mai încercăm a interpreta sau a prevedea, am putea să punem această întrebare direct unei experiențe. Vom păși însă pe o altă cale. Să ne gîndim ce fapte ne sînt prezise de teoria ondulatorie și ce fapte ne prezice teoria cuantelor.

Adeptul teoriei ondulatorii judecă în felul următor: Avem radiații cu structură ondulatorie continuă, care cad asupra plăcuței metalice. Cercetăm energia de mișcare a electronilor expulzați. Energia de mișcare a electronilor este un concept aparținînd fizicii clasice, concepției de continuitate. Să zicem că teoria cuantelor n-are nici o aplicare și să considerăm problema noastră numai în cadrul fizicii clasice. O anumită parte a energiei radiante se transformă deci în energia de mișcare a electronilor. Se impun aici următoarele concluzii, care cer o verificare experimentală:

1) Dacă vom bombarda plăcuța metalică cu raze ultraviolete, care provin totuși de la surse de lumină cu inten-

sități diferite, *energia electronilor aruncați afară din metal ar trebui să fie cu atît mai mare* cu cît sursa de lumină este mai intensă, deci cu cît este mai mare cantitatea de energie radiantă, care se transformă în energia de mișcare a electronilor expulzați.

2) Oare efectul fotoelectric va mai apare atunci cînd vom înlocui razele ultraviolete cu raze roșii sau infraroșii, adică atunci cînd vom trece la radiații cu lungime de undă mai mare? Firește că da, ar spune adeptul teoriei ondulatorii. Folosind surse de energie luminoasă din ce în ce mai intense, vom putea obține și în cazul radiațiilor roșii sau infraroșii, un efect fotoelectric direct proporțional cu intensitatea acestor radiații.

Oare adeptul teoriei cuantelor va ajunge și el la aceleași concluzii? Întrebarea: care dintre cele două teorii este justă? ar putea fi soluționată cu ajutorul efectului fotoelectric numai în cazul cînd concluziile la care ajung aceste teorii ar fi diferite.

Să ascultăm prin urmare, cum judecă *adeptul teoriei cuantelor:* „Radiațiile *ultraviolete*, spune el, sînt un nor de fotoni asemănător cu un roi de proiectile. Radiația fiind omogenă, fiecare din aceste proiectile duce cu sine aceeași energie. Să concretizăm imaginea. Obuzele unei baterii de tunuri de același calibru, de același tip, bombardează o fortăreață. Unele din aceste obuze *nimeresc în plin.* Ele dau atunci un efect dublu: pe de o parte fiecare obuz smulge un singur electron din metalul bombardat, iar pe de altă parte îl aruncă cu o anumită energie în afara suprafeței lui. Energia unui foton, în cazul unei lovituri în plin, va fi folosită întîi pentru ruperea legăturilor electronului cu metalul iar apoi pentru aruncarea afară cu o anumită viteză a acestui electron. Deoarece toți fotonii au aceeași energie, urmează că toți electronii smulși de ei din metal, prezintă aceeași viteză, adică au aceeași energie, atît timp cît legăturile lor cu metalul sînt la fel de tari. Cînd vom mări intensitatea luminii ultraviolete, deci cînd vom bombarda metalul cu aceleași proiectile, mărind însă doar numărul acestor proiectile, *energia unui electron aruncat afară nu va suferi nici o schimbare.* În schimb va spori numai numărul de lovituri în plin și totodată numai numărul electronilor smulși din metal. Însă energia cu care pleacă fiecare elec-

tron din metal va rămîne mereu constantă cîtă vreme radiaţiunea omogenă nu se schimbă. «Să trecem acum la radiaţiile infraroşii», zice adeptul teoriei cuantelor, adică de la obuze de tun să trecem la gloanţe de vată. Se înţelege că efectul fotoelectric după toate probabilităţile, va dispare. În acest caz, fotonii nu vor mai avea energia suficientă pentru a putea smulge electroni din metal, loviturile lor nu vor mai avea nici un efect, chiar dacă am mări extrem de mult numărul lor."

Să rezumăm deci concluziile teoriei cuantelor:

1) Dacă vom lumina o plăcuţă de metal cu raze ultraviolete care provin de la surse de lumină cu intensităţi diferite, *energia electronilor expulzaţi nu va suferi nici o schimbare;* creşterea intensităţii sursei de lumină va determina numai creşterea numărului electronilor expulzaţi.

2) Efectul fotoelectric va începe atunci cînd energia fiecărui foton va fi destul de mare ca să poată smulge un electron din metal. Acest efect se va produce pentru o anumită radiaţie monocromatică a spectrului şi va dispare pentru razele infraroşii. Energia electronilor excitaţi de fotoni, va creşte de îndată ce se vor întrebuinţa radiaţiuni care se apropie mai mult de violet.

Să comparăm concluziile formulate aici cu concluziile teoriei ondulatorii. Vedem că ele sînt cu totul diferite. Oare unei radiaţii omogene îi corespunde o anumită energie a electronului aruncat afară, după cum rezultă din teoria cuantelor? Experienţa efectului fotoelectric confirmă toate concluziile teoriei cuantelor. Aceste concluzii sînt de neînţeles şi ciudate din punctul de vedere al teoriei ondulatorii.

Dualismul radiaţiilor

Să revedem încă o dată în gînd fazele principale ale dezvoltării teoriilor despre lumină: teoria ondulatorie şi teoria emisiunii corpusculare. Victoria teoriei ondulatorii se datora descoperirii difracţiei luminii. A apărut apoi teoria electromagnetică a luminii. În fine, teoria emisiei radiaţiilor sub formă de cuante. Ne întrebăm: în fizica de astăzi putem oare să ne stabilim solid numai pe poziţiile teoriei cuantelor, înlăturînd cu totul teoria ondulatorie? Răspunsul este negativ.

În adevăr, prin teoria cuantelor de energie putem foarte bine explica efectul fotoelectric, dar nu putem explica *fenomenul difracției*. Nu putem, pe baza teoriei cuantelor, să explicăm existența benzilor alternativ luminoase și întunecate care se formează la trecerea luminii prin deschideri mici sau peste obstacole mici. Situația devine într-adevăr dramatică. Avem două teorii, iar fiecare din ele explică numai un anumit număr de fapte. *Fenomenul difracției* e în contradicție cu teoria cuantelor, iar *fenomenul fotoelectric* e în contradicție cu teoria ondulatorie. Cum să găsim o ieșire din acest impas? Ce este lumina în esența ei? Este ea mișcarea *fotonilor* sau este o *undă* care se propagă în eter? În procesul de dezvoltare a concepțiilor științifice descoperim adeseori falsitatea sau insuficiența anumitor premise, descoperim greșeli de gîndire înrădăcinate și mereu repetate. Astfel, de exemplu, punctul de plecare al lucrării de bază din teoria relativității restrînse este analiza noțiunii „acum", din punct de vedere fizic. Atomistica și teoria cuantelor rup legătura cu concepția continuității numai în anumite domenii. Iată că încă una din concepțiile noastre consacrate va trebui să fie supusă revizuirii și schimbării. Pînă acum am crezut că vom putea alcătui o imagine unitară a mecanismului radiației. Astăzi însă începem să înțelegem marea complexitate a fenomenelor naturii. Vedem că aceste fenomene sînt prea complicate, ca să le putem introduce în cadrul uneia singure din cele două *concepții unitare*, ondulatorii sau corpusculare. Care este esența luminii? Nu putem răspunde la această întrebare. Dezvoltarea științei ne silește adeseori să îngustăm cadrul cunoașterii noastre. Înțelegem din ce în ce mai bine și mai adînc cît de vastă este sfera necunoscutului care ne înconjoară. Trebuie să ne mulțumim cu constatarea faptului că lumina, prin anumite fenomene, își manifestă natura sa *ondulatorie*, iar prin alte fenomene, își manifestă compoziția sa *corpusculară*, *fotonică*. În fizica de astăzi, acceptăm ambele aspecte ale luminii. În anumite fenomene apare aspectul ondulatoriu, în altele aspectul corpuscular. Dar mai cunoaștem și fenomene ca efectul Doppler, pe care-l putem tot așa de bine explica atît cu ajutorul teoriei ondulatorii cît și prin teoria corpusculară a luminii. Ne vom convinge mai tîrziu că acest *dualism* în interpretarea fenomenelor naturii devine o me-

todă de gîndire nouă şi neobişnuit de bogată, pe care o vom dezvolta pe urmă în alte domenii ale fizicii.

Să ne închipuim un film sonor. În sală se află numai doi spectatori, fiecare cu beteşugul lui. Unul dintre ei este surd, altul orb. Pentru cel surd există numai aspectul vizual al fenomenului. El nu ştie nimic de existenţa aparaturii sonore, nici nu concepe că există şi fenomenul auditiv. Va căuta prin toată sala şi nevăzînd orchestra, va trage desigur concluzia că ea a fost îndepărtată, deoarece nu i-ar fi servit la nimic. La fel şi orbul nu va primi decît impresiile auditive. Simţul vizual nu-i va folosi la nimic. Ecranul plan cu două dimensiuni îl va informa numai despre faptul că în faţa lui are numai un fenomen acustic. Aşadar, pentru fiecare din cei doi spectatori, fenomenul se prezintă sub aspecte cu totul diferite. Descriindu-l, fiecare ar folosi un limbaj deosebit. Să ne mai închipuim că ar exista vreo modalitate cu ajutorul căreia cei doi spectatori să-şi schimbe între ei defectele fizice, adică spectatorul cel surd să devină orb, iar cel orb, să devină surd. Primul îşi recapătă auzul, iar al doilea vederea. Fiecare din ei ar putea să-şi dea seama mai întîi de un aspect al fenomenului, apoi de al doilea aspect. Faptul că fenomenele acustice şi vizuale coexistă simultan în film, rămîne pentru ei un secret permanent. Într-o situaţie asemănătoare sîntem şi noi cînd observăm fenomenele determinate de radiaţii. Observăm aceste fenomene în mod alternativ, cînd sub aspectul ondulatoriu, cînd sub aspectul corpuscular. Dezvoltarea ştiinţei ne ilustrează permanent marea complexitate a naturii şi bogăţia ei mereu nouă.

Vom arăta acum că confruntarea celor două teorii ale radiaţiilor ne dă posibilitatea să determinăm constanta h a lui Planck, care joacă un rol atît de important în teoria cuantelor.

Să revenim încă o dată la fenomenul fotoelectric. Pe placa de metal cade radiaţia ultravioletă. Să cercetăm aspectul ondulatoriu. Radiaţia considerată este omogenă, deci îi putem determina lungimea de undă.

De asemenea, pe cale experimentală, putem determina energia fotonului. Amintim că loviturile în plin transformă energia fotonului în energia de mişcare a electronului expulzat. Dacă vom cunoaşte deci metodele experimentale care

ne permit să măsurăm energia de mişcare a electronului, vom putea afla totodată şi energia fotonului. Să scriem încăodată formula fundamentală a teoriei cuantelor:

$$\textit{energia fotonului} = \frac{h \times \textit{viteza luminii în vid}}{\textit{lungimea de undă a radiației}}.$$

Ne întrebăm: care din mărimile fizice scrise mai sus, poate fi determinată cu ajutorul experienţei? Mai întîi, viteza luminii în vid este bine cunoscută; apoi, fenomenul difracţiei ne permite să determinăm *lungimea de undă* a radiaţiei, în fine cu ajutorul fenomenului fotoelectric putem determina *energia fotonului*. Singura mărime necunoscută este *h*. Dar egalitatea scrisă mai sus ne permite să calculăm şi această mărime. Din punct de vedere matematic avem aici o ecuaţie simplă cu o singură necunoscută, care este constanta *h* a lui Planck. Din formula de mai sus, obţinem valoarea constantei *h*.

Am stabilit astfel valoarea constantei *h* a lui Planck pe cale experimentală.

Capitolul III

STRUCTURA MATERIEI

Reprezentarea noastră despre lume suferă schimbări continui. Gîndirea ştiinţifică o transformă fără încetare, ducîndu-ne la cunoaşterea din ce în ce mai adîncă a naturii. Secolul al XX-lea a adus transformări radicale în concepţiile noastre despre structura materiei. Teoria cuantelor a pătruns şi aici.

Calea care duce la rezultate noi în teoriile ştiinţifice este calea unor deducţii grele, adeseori complicate, de natură matematică. Experienţele care decid soarta ulterioară a teoriei reclamă în genere nişte măsurători foarte precise şi aparaturi complicate. Înţelegerea lor nu este posibilă fără cunoaşterea fizicii experimentale de astăzi. În astfel de condiţii sîntem siliţi să delimităm precis ţelul pe care ni-l fixăm. Renunţăm la schiţarea drumului parcurs, care ne-ar duce la noile legi şi teorii. Ne lipsim astfel de plăcerea de a vedea toate frumuseţile dobîndite de ştiinţă, în călătoria ei plină de atîtea greutăţi şi obstacole. Vom prezenta deci numai rezultatele.

Însă chiar şi numai prezentarea rezultatelor obţinute de ştiinţă, are nevoie de limbajul subtil şi precis al matematicii. Înţelegem deci că tabloul schiţat aici va fi oarecum învăluit în ceaţă, general şi neclar. Putem prezenta numai schiţele, numai contururile noilor teorii. Totuşi, chiar şi din tabloul acesta prezentat atît de sumar, va rezulta poate înţelegerea revoluţiei adînci, care a avut loc în ştiinţa con-

temporană, înţelegerea sarcinilor uriaşe şi posibilităţilor care stau deschise în faţa dezvoltării viitoare a fizicii moderne.

Despre teoria cinetică a materiei

Încă la sfîrşitul secolului trecut, atomii erau consideraţi ca particulele cele mai mici, indivizibile ale materiei. Pămîntul, planetele, soarele, stelele — erau îngrămădiri de atomi ai diferitelor elemente.

Cel mai uşor dintre toate elementele este hidrogenul. Considerăm un vas umplut cu hidrogen sau cu un oricare alt gaz. Teoria cinetică a gazelor ne prezintă o imagine statistică a fenomenelor care au loc în gaz. Moleculele gazului zboară orbeşte înainte, se lovesc de alte molecule, sar înapoi din cauza ciocnirii cu alte molecule, deviază din drumul lor iniţial, zboară mai departe înainte pînă la o nouă ciocnire şi aşa mai departe. Ce este o moleculă de gaz? Există gaze monoatomice. În cazul gazelor monoatomice *noţiunea de moleculă este identică cu noţiunea de atom.* Gaze monoatomice sînt de pildă: heliul, vaporii de mercur, de sodiu. În general însă moleculele unui gaz sînt formate dintr-un număr mai mare de atomi. De exemplu, moleculele de hidrogen, oxigen, azot etc. sînt molecule biatomice.

În teoria cinetică a materiei găsim răspunsul la întrebarea: cît de mare este masa atomică a fiecărui element? Aici vom da încă odată numărul care exprimă masa unui atom de hidrogen:

masa atomului de hidrogen = 0,000 000 000 000 000 000 000 001 67 g.

Acest număr ne este furnizat de teorie. Nu-l putem afla prin măsurare directă, căci el este incomparabil mai mic decît limita de precizie chiar a celor mai sensibile balanţe. Putem caracteriza şi altfel acest număr extraordinar de mic. Cîţi atomi de hidrogen conţine un gram din acest gaz?

Numărul de atomi dintr-un gram de hidrogen =
= 602 000 000 000 000 000 000 000 = $6{,}020 . 10^{23}$ atomi

Chiar şi masele mici de gaze sînt îngrămădiri de atomi în număr uriaş. A miliarda parte dintr-un gram de hidrogen conţine încă peste şase sute de mii de miliarde de atomi. Ce crezare putem da acestor numere, care sună atît de fan-

tastic, dacă nu putem verifica realitatea lor cu ajutorul măsurătorii directe? Tabloul pe care ni-l înfățișează teoria cinetică a gazelor, ale cărei rezultate sînt tocmai numerele citate aici precum și multe alte numere caracteristice unui gaz, duce în concluziile sale la explicarea unei serii întregi de date experimentale. Concordanța acestor concluzii cu experiența înseamnă validarea concepției cinetico-moleculare despre structura materiei.

Înainte de a urmări soarta viitoare a teoriei despre structura materiei, sîntem nevoiți să mai formulăm unele rezultate obținute de știință despre electricitate. La fel ca și în știința despre radiații, tot așa și aici, soarta teoriei despre structura materiei s-a legat strîns de istoria dezvoltării științei despre electricitate.

Legea atracției universale și legea lui Coulomb

Newton a fost primul care a înțeles că atît căderea corpurilor la pămînt cît și mișcarea lunii în jurul pămîntului și mișcările planetelor în jurul soarelui, sînt conduse de o singură lege comună, legea atracției universale. Anul 1687, în care această lege a fost formulată pentru prima oară în „Principiile" lui Newton, constituie o mare cotitură în istoria gîndirii omenești. Să facem cunoștință cu această lege, cel puțin în linii generale.

Toate corpurile se atrag reciproc. Pentru a simplifica raționamentul, să ne închipuim că avem două sfere omogene așezate la distanța de 1 dm una față de alta. Legea atracției universale ne arată în ce sens se atrag aceste sfere și de ce fel de mărimi fizice depinde forța lor de atracție. Corpurile se atrag reciproc de-a lungul liniei drepte care unește centrele lor de greutate. Forța de atracție mutuală depinde de masa acestor sfere și de *distanța* dintre centrele lor de greutate. Într-adevăr să ne închipuim că, fără a schimba distanța dintre sfere, schimbăm numai masele lor: masa uneia o dublăm, iar a celeilalte o triplăm. Forța de atracție va crește atunci de 2 × 3, adică de șase ori, ceea ce înseamnă că *această forță este direct proporțională cu produsul maselor celor două corpuri*. Să ne închipuim acum că, fără a schimba masele acestor sfere, mărim numai *distanța* dintre ele, de exemplu de trei ori. Forța de atracție se va micșora atunci

de 3 × 3, adică de nouă ori, ceea ce înseamnă că *forța de atracție este invers proporțională cu pătratul distanței.*

De ce nu constatăm existența acestor forțe la obiectele care ne înconjoară? De ce nu observăm o atragere reciprocă a scaunelor, meselor, caselor? Răspunsul este simplu. La aceste corpuri, forța de atracție reciprocă este extrem de mică. Dacă e vorba de obiectele din jurul nostru, ele nu sînt în stare să învingă rezistențele care se opun totdeauna mișcării lor. Dacă însă masele corpurilor care se atrag sînt uriașe, aceste forțe devin de asemenea uriașe. Datorită acestor forțe de gravitație, pămîntul atrage corpurile care se află în jurul nostru, și tot datorită lor planetele se mișcă în jurul soarelui, iar luna în jurul pămîntului.

Se mai pune aici încă o întrebare. Dacă două corpuri se atrag în direcția dreptei care unește centrele lor, de ce atunci pămîntul nu cade pe soare și luna pe pămînt? Principiile dinamicii lui Newton ne dau la această întrebare un răspuns precis. Direcția mișcării nu coincide cu direcția forței de atracție. O piatră aruncată nu mai cade spre centrul pămîntului. Un obuz tras dintr-un tun zboară pe o traiectorie parabolică, cu toate că forța de atracție este îndreptată spre centrul pămîntului. S-ar putea realiza un proiectil-rachetă care să meargă cu o viteză atît de mare încît să dea ocol pămîntului, ca luna.

Din principiile dinamicii lui Newton rezultă că forma traiectoriei descrise nu depinde numai de forța de atracție ci și de pozițiile și vitezele inițiale. Planetele circulă în jurul soarelui pe anumite traiectorii eliptice. Forma acestora depinde de viteza pe care au avut-o planetele atunci cînd a luat naștere sistemul nostru planetar.

Am folosit în repetate rînduri termenul de *forță.* Care este unitatea cu ajutorul căreia vom măsura forța? Să-i dăm o definiție aproximativă. Punem pe palmă un corp cu masa de 1 gram. Acest corp este atras de pămînt cu o forță pe care o numim *greutatea unui gram masă*, sau mai scurt *gram-forță.*

Cînd ținem în palmă masa de un gram, greutatea ei, adică gramul-forță, apasă asupra mîinii noastre, însă această forță este atît de mică încît abia o simțim.

Să ne închipuim acum o forță și mai mică, cam de o mie de ori mai mică decît greutatea unui gram.

De data aceasta, ar trebui să folosim un aparat (dinamometru) foarte sensibil pentru a constata existenţa ei, căci la forţe atît de mici simţul nostru muşchiular nu ne mai ajută cu nimic. Această forţă, cam de o mie de ori mai mică decît aceea pe care o exercită greutatea unui gram asupra palmei noastre, este o *unitate ştiinţifică de forţă* şi se numeşte *dynă*. Deci dyna este cam a mia parte din greutatea unui gram-masă.

În perioada în care ştiinţa a aflat primele date din domeniul fenomenelor electrice, mecanica clasică construise deja un edificiu a cărui strctură corespundea unui plan frumos.

În dezvoltarea ei iniţială ştiinţa despre electricitate preia modele gata existente în concepţiile mecanicii clasice.

Prima încercare de a explica fenomenele electrice este teoria celor două fluide electrice. Există fluide electrice pozitive şi negative, ambele imponderabile. Introducerea în ştiinţă a tot felul de fluide imponderabile, a aşa-numitor „imponderabilia", era pe atunci la modă. Căldura, electricitatea, magnetismul, eterul, iată cîţiva din membrii acestei familii de imponderabile.

Să ne aducem aminte de afirmaţia cea mai simplă din teoria electricităţii, afirmaţia care explică o mulţime de fapte experimentale primitive de altfel. Ea sună: Sarcinile de acelaşi fel se resping, sarcinile de fel contrar se atrag reciproc. Să ne închipuim două sfere încărcate cu electricitate. Vom deosebi aici trei cazuri, care pot fi prezentate grafic în felul următor:

← + + → două sfere încărcate pozitiv se resping
← — — → două sfere încărcate negativ se resping
— → ← + două sfere încărcate cu electricităţi diferite se atrag.

Cît de mari sînt aceste forţe? Să judecăm folosind terminologia teoriilor din vremea aceea. Sferele sînt materiale, prezintă deci o masă. În conformitate cu legea gravitaţiei universale, ele se atrag. Ştim însă că această atracţie este foarte mică; putem deci să omitem cu totul această atracţie gravitaţională în cursul consideraţiunilor care vor urma. Va rămîne atunci numai acţiunea celor două sarcini electrice, a fluidelor imponderabile, care se află pe sferele materiale. Cum se prezintă această acţiune? Nu cumva acţiunea sarcinilor electrice va prezenta analogie cu legea

gravitației universale? Coulomb începe experimentarea și descoperă confirmarea acestor analogii. Putem deci exprima direct legea lui Coulomb: sarcinile electrice se atrag sau se resping cu o forță proporțională cu produsul acestor sarcini și invers proporțională cu pătratul distanței lor. Observăm imediat asemănarea cu legea gravitației universale a lui Newton. Dar să ne îndreptăm atenția și asupra deosebirilor. În cazul electricității *apare atît atracția cît și respingerea*, care depinde de faptul dacă sarcinile sînt de semn contrar sau de același semn. Locul noțiunii de masă din mecanica clasică îl ocupă aici noțiunea de sarcină electrică. Cu ce măsurăm aceste sarcini? Să stabilim și aici o unitate de măsură corespunzătoare. Aceasta este așa-numita unitate electrostatică de cantitate de electricitate. Aceasta este o unitate foarte mică. Să ne închipuim că am încărcat două sfere metalice cu aceeași cantitate de electricitate de același semn. Sferele au prin urmare sarcini egale și de același semn. Fie distanța dintre ele de un centimetru. Să mai presupunem că forța cu care se resping reciproc aceste sarcini este egală cu o dynă. Spunem atunci, că valoarea sarcinii pe fiecare sferă este egală cu *o unitate electrostatică* de electricitate. Așadar: unitatea electrostatică de sarcină electrică este sarcina care, fiind așezată (în vid) la distanța de un centimetru față de o altă sarcină egală cu dînsa, o respinge cu forța de o dynă.

Cuantele elementare ale electricității

În stadiul ei inițial, cantitatea de electricitate prezentată sub forma unui fluid imponderabil, conținea noțiunea de continuitate. Deci ne putem închipui o sarcină electrică oricît de mică, la fel cum ne putem închipui mase oricît de mici, atît timp cît nu luăm în considerare teoriile atomice. Dezvoltarea ulterioară a științei despre electricitate a făcut ca noțiunea de fluid electric să fie lipsită de caracterele ei fundamentale. Un astfel de fluid pierde structura lui continuă, pierzînd în același timp caracterul lui de imponderabilitate. În fizica de azi electricitatea prezintă o structură granulară.

Cum s-a ajuns la această idee revoluționară? Trebuie să trecem cu vederea răspunsul exact la această întrebare.

El este legat în primul rînd de dezvoltarea fizicii spre sfîrşitul secolului trecut, iar răspunsul amănunţit ar depăşi mult cadrul temei noastre. Amintim doar pe scurt că o serie de fenomene (mai ales fenomenele electrolizei şi studiul razelor catodice) ne duce la concluzia că electricitatea are o structură atomică, granulară. Există sarcini elementare de electricitate negativă şi sarcini elementare de electricitate pozitivă. Orice sarcină electrică poate conţine numai un multiplu întreg din aceste granule elementare de electricitate. Vedem deci şi aici că dezvoltarea anterioară a atomisticii a pregătit terenul pentru o schimbare analogă a concepţiilor fundamentale în ştiinţa electricităţii. Se înţelege că aceste granule elementare de electricitate fiind extrem de mici, vom putea în multe consideraţiuni să admitem continuitatea electricităţii, după cum în mecanica plastică admitem continuitatea materiei şi energiei. Electricitatea îşi manifestă structura sa granulară numai în concepţia lumii microfizice.

Descoperirea structurii discontinui, atomistice a sarcinilor electrice, a dus la descoperirea *particulelor* care poartă acele sarcini elementare. Mai întîi au fost descoperiţi *electronii*, care reprezintă sarcini elementare de electricitate *negativă* şi *protonii*, care au sarcină *pozitivă*. Ce ştim despre aceste particule? Cît de mari sînt *sarcinile* lor, cît de mari sînt *masele* electronilor şi protonilor? Vom fi nevoiţi să trecem cu vederea experienţe frumoase, ca devierea electronilor în cîmpul magnetic şi electric, nu vom putea descrie ingenioasele experienţe ale lui Millikan, prin care el a măsurat direct acele sarcini elementare şi ne vom mărgini numai la prezentarea rezultatelor obţinute pe cale experimentală şi pe cale teoretică.

1) Cît de mari sînt *sarcinile* electronilor şi protonilor? Doi electroni la o *anumită distanţă* unul faţă de altul, se resping cu aceeaşi forţă cu care se resping doi protoni aşezaţi la aceeaşi distanţă. Electronul şi protonul prezintă deci sarcini de semn contrar, însă *egale în valoarea absolută*. Sarcina lor este de miliarde de ori mai mică decît unitatea electrostatică de sarcină.

2) Cît de mari sînt *masele* electronilor şi protonilor? Obţinem un răspuns neaşteptat. Masele electronilor şi protonilor *nu mai sînt egale*. Să începem cu *masa protonului*.

Ea este aproape tot atît de mare ca şi masa unui atom de hidrogen. Despre acest număr extraordinar de mic care exprimă masa atomului de hidrogen, deci şi masa protonului, am arătat mai înainte. Ei bine, *masa electronului* este aproape de două mii de ori mai mică decît masa protonului. Mai exact, raportul dintre masa protonului şi masa electronului este de 1 : 1 836.

Să notăm numerele, care definesc masele electronilor şi protonilor, în următorul tablou:

Electronul	*Protonul*
Masa electronului = 0,00 ..... 0, (28 de zerouri) 91 g	Masa protonului = masa atomului de hidrogen = 0,00 ... 0, (24 de zerouri) 17 g

Sarcina elementară = 0, 000 000 000 477 din unitatea *electrostatică*.

Efectuînd calculul raportului de mase avem:

$$\frac{\textit{Masa protonului}}{\textit{Masa electronului}} = 1\ 836.$$

Se pune întrebarea: cum explică ştiinţa acest număr „magic" — 1 836 — care fiind un raport este un număr abstract, absolut independent de unităţile cu ajutorul cărora se exprimă masa? Acest număr este o constantă a naturii şi încă n-am înţeles de ce tocmai el exprimă raportul dintre cele două mase. Aflarea răspunsului la această întrebare este una din problemele centrale ale fizicii actuale.

Dar se mai pun şi alte întrebări: Dacă sarcinile de acelaşi semn se resping reciproc, cum se face că electronii (la fel ca şi protonii), pot coexista simultan sub formă de îngrămădiri de particule cu acelaşi semn? S-ar părea că electronii, respingîndu-se reciproc, ar trebui să ducă la o explozie totală a întregului edificiu pe care îl compun, ceea ce nu se întîmplă. Care sînt acele forţe de coeziune care ţinînd electronii îngrămădiţi la un loc, împiedică această explozie? Paralel cu dezvoltarea teoriei, cu succesele şi triumfurile ei, apar contradicţii noi, iar odată cu ele apar probleme noi, germenii unei dezvoltări noi, unor încurcături şi greutăţi noi.

Oare electronii şi protonii sînt particule care au importanţă numai în ştiinţa despre electricitate, unde au rol de *vehicule* ale sarcinilor electrice elementare? Răspunsul la această întrebare duce la o *sinteză* nouă şi mare, care a avut loc în ştiinţa secolului al XX-lea. Problemele care se referă

la structura cuantică a electricității s-au contopit cu problemele structurii materiei.

Datorită descoperirii fenomenelor radioactivității și a altor fenomene, lumea a început să înțeleagă că atomul nu este cea mai mică particulă indivizibilă a materiei. *Radiul*, un element radioactiv, mai emite spontan, fără întrerupere, în afară de raze *gamma*, cunoscute de noi și în afară de electroni, încă așa-zisele particule *alfa*, și care se compun fiecare, după cum s-a văzut mai tîrziu, din doi protoni și doi neutroni. Neutronul este o particulă nouă, a cărei masă este aproximativ egală cu masa protonului, dar care nu posedă sarcină electrică. Ne vom ocupa cu el mai deaproape în capitolul VI. Atît aceste fenomene cît și altele, dezvăluie în fața noastră o arhitectonică minunată și subtilă a edificiului atomic. Atomul este un edificiu complicat. Căutînd să-l pătrundem, adică să înțelegem legile care conduc acest complex ne vom făuri o imagine a materiei prin care vom putea explica rezultatele experienței. Astfel se pun imediat următoarele probleme:

1) Dacă atomul este o construcție complicată, care sînt adevăratele particule elementare, din ce fel de material este construit universul?

2) Cum este alcătuit atomul? Ce legi guvernează structura lui?

3) Care sînt fenomenele pe care ne străduim să le explicăm cu ajutorul imaginii atomului, creată de știință?

Răspunsul la prima întrebare este neașteptat de simplu. Tocmai electronii, protonii și neutronii sînt acele granule elementare din care este alcătuit tot universul. Atomii tuturor elementelor sînt îngrămădiri de electroni, protoni și neutroni. Totuși se știe că atomii oricărui element sînt neutri din punct de vedere electric; de exemplu o cantitate de atomi de hidrogen nu manifestă în stare normală nici un fel de sarcină electrică. Cum este deci posibil ca componentele atomului să fie electroni și protoni, care poartă anumite sarcini electrice? Răspunsul la această întrebare este extrem de simplu. *Numărul de electroni dintr-un atom este întotdeauna egal cu numărul de protoni*. Electronul și protonul au sarcini egale în valoare absolută, dar de semne contrare. Dacă în atom se află de exemplu 20 de electroni și tot atîția protoni, în cazul acesta sarcina rezultată este

egală cu zero, iar atomul va fi în realitate electric neutru. Fireşte că existenţa neutronilor care, după cum ştim, nu au nici o sarcină electrică, nu joacă aici nici un rol.

La începutul secolului nostru întîlnim primele încercări de a răspunde la întrebarea a doua anume: cum sînt construiţi atomii unui anumit element chimic? În lucrările lui J. J. Thomson, în lucrările lui R. Rutherford, găsim de acum concepţia electronilor rotindu-se în jurul protonilor ca nişte planete. Dar greutăţile apărute în faţa ştiinţei cresc din ce în ce mai mult. Cunoaştem rezultatele noi ale experienţelor şi pretindem de la teoria structurii materiei să ne explice aceste rezultate. Modelul de atom al lui Rutherford apare prea simplu, prea naiv în alcătuirea sa, căci n-a fost în stare să ne explice un ansamblu din ce în ce mai bogat de rezultate experimentale. Din astfel de greutăţi şi conflicte rezultă în ştiinţă aproape totdeauna idei noi şi mari. În fizică ni le-a oferit savantul danez Niels Bohr, în anul 1913. Înainte de a prezenta ideile fundamentale ale teoriei lui Bohr, trebuie să amintim unele probleme simple apărute în domeniul teoriei relativităţii.

Energia şi masa materială

În fizică există legi generale sau principii, de care trebuie să asculte toate fenomenele care au loc în univers. Să cităm numai două din aceste principii, pe care ni le-a transmis fizica clasică. Acestea sînt:

— principiul conservării masei materiale;
— principiul conservării energiei.

Să admitem că avem un sistem de corpuscule înăuntrul căruia au loc tot felul de transformări chimice. Sistemul este perfect izolat, adică din afară nu pătrund în el nici un fel de corpuri şi nici un corp nu poate ieşi afară din el. În astfel de condiţii *masa* totală a sistemului nu va suferi nici o schimbare. Atît înainte de reacţiile chimice cît şi în cursul şi după terminarea lor, masa totală a sistemului va fi totdeauna aceeaşi.

Alături de principiul conservării masei mai apare în fizica clasică şi principiul conservării energiei. Cînd încălzim apa, cînd ridicăm o piatră de la pămînt, cînd punem în mişcare angrenajele unei maşini, cînd încărcăm un acumu-

lator electric etc. îmbogățim aceste *sisteme* cu energie. Energia sistemului se îmbogățește cînd depunem *noi* o muncă asupra lui. Sistemul devine mai sărac în energie cînd execută *el însuși* această muncă. Energia în fizica clasică nu are masă, este ceva imponderabil, care poate lua cele mai variate forme prin mijlocirea lucrului mecanic. Să ne închipuim un sistem izolat din punct de vedere energetic, adică un astfel de sistem care nici nu lucrează el însuși și nici nu se depune un efort din exterior asupra lui. Un astfel de sistem posedă o anumită energie. Din principiul conservării energiei rezultă că energia acestui sistem nu poate suferi nici o schimbare. Se pot schimba formele ei, dar energia totală a sistemului dat este constantă! Cu ce măsurăm energia? Cu aceleași unități cu care măsurăm lucrul mecanic, fie că folosim acest lucru numai la îmbogățirea sistemului în energie, fie că el se folosește numai la transformarea energiei sistemului dintr-o formă în alta.

Asemănătoare în formă, cele două principii: al conservării masei și al conservării energiei sînt totuși deosebite în conținutul lor. Primul din ele se referă la masă, pe care o putem stabili prin cîntărire și o putem exprima în grame, al doilea se referă la energia imponderabilă, pe care o măsurăm cu ajutorul *lucrului mecanic.*

În secolul al XX-lea se produce și în aceste două principii o transformare adîncă și radicală. Teoria relativității aduce și în aceste principii o revizuire și o transformare fundamentală.

Să ne închipuim că un kilogram de zahăr, cîntărit cu precizie la Varșovia este adus la ecuator. Temperatura lui crește, deci și *cantitatea de energie* pe care o reprezintă, va suferi o modificare. Vom schimba oare astfel masa materială a zahărului? Fizica clasică dă un răspuns clar și precis în felul ei: cantitatea de energie a unui corp nu are nimic comun cu masa lui materială, deci această masă a corpului nu poate suferi nici o modificare. Tot astfel, încălzind apa (într-un vas închis) nu schimbăm masa ei. Corpul care se află în mișcare, are exact aceeași masă pe care o avea cînd era în repaus.

Răspunsul teoriei relativității este însă cu totul diferit. *O anumită cantitate de energie este echivalentă cu o anumită masă materială și invers.* Această concluzie revoluționară a teoriei relativității a fost total confirmată de experiență.

Cît de mare este această masă materială echivalentă cu o anumită cantitate de energie? Iată răspunsul teoriei relativității:

$$masa = \frac{cantitatea\ de\ energie}{Viteza\ luminii \times Viteza\ luminii}$$

Să explicăm mai de aproape această relație fundamentală. Viteza luminii este un număr foarte mare. Produsul: viteza luminii X viteza luminii (pătratul vitezei luminii) este deci un număr uriaș. Dacă vom împărți o cantitate de energie (exprimată în ergi) prin acest număr uriaș, vom obține o masă materială (exprimată în grame), care este echivalentă cu cantitatea de energie considerată. Se înțelege că va rezulta o masă materială extraordinar de mică, echivalentă cu această cantitate de energie. Cantitatea de energie cu ajutorul căreia am putea transforma total în vapori un milion de kilograme de apă, ar fi echivalentă cu aproximativ 30 miligrame de masă. Acestei micimi a masei echivalente i se datorește faptul că nu s-a descoperit mai devreme principiul echivalenței dintre masă și energie enunțat mai sus.

Energia radiantă a soarelui este de asemenea echivalentă cu o anumită masă materială. Cantități uriașe de energie solară se împrăștie în fiecare secundă în univers. Soarele, care este sursa vieții pe pămînt, pierde nu numai din energia sa. El mai pierde odată cu aceasta și din masa lui materială. Viața stelelor, ca și viața oamenilor, trebuie să treacă neapărat prin anumite faze. În nebuloase, în stelele uriașe, vedem acele faze inițiale, iar în pămîntul răcit, în luna și mai înghețată, vedem fazele următoare, finale ale evoluției corpurilor cerești.

Să analizăm încă o dată legătura formulată mai sus dintre masa materială și cantitatea de energie echivalentă. Este suficient să cunoaștem cantitatea de energie, ca să putem calcula masa materială cu.ajutorul acestei formule. Cunoscînd cantitatea de energie exprimată în ergi, n-avem decît s-o împărțim de două ori prin viteza luminii, exprimată în centimetri pe secundă. Amintim deci aici că:

Viteza luminii = 29 979 290 000 cm/s

Am spus mai sus că o anumită cantitate de energie este echivalentă cu o anumită masă materială și *invers*. Deci, nu numai o cantitate de energie este echivalentă cu

o anumită masă materială (foarte mică), dar și invers: o masă materială este echivalentă cu o anumită cantitate de energie (uriașă). Să scriem deci relația fundamentală de mai sus sub forma inversă:

energia = *masa* × *Viteza luminii* × *Viteza luminii*,

sau mai pe scurt:

energia = *masa* × (*Viteza luminii*)^2, adică $E = mc^2$.

Această formulă exprimă cantitativ, cu ce cantitate de energie este echivalentă o masă materială. Dorind să calculăm cantitatea de energie corespunzătoare unei mase materiale date, trebuie să înmulțim această masă cu numărul uriaș care reprezintă pătratul vitezei luminii. Deci o masă materială de *un gram*, al cărui corp este echivalent aproximativ cu o cantitate de energie egală cu ($E = 1 \times \times 30\,000\,000\,000)^2 = 900\,000\,000\,000\,000\,000\,000$ ergi! Știm bine ce splendidă confirmare a găsit această concluzie în eliberarea energiei atomice. Vom reveni asupra acestei chestiuni mai tîrziu, cînd vom studia mai de aproape structura atomului.

O consecință inevitabilă a echivalenței dintre masă și energie este și schimbarea concepțiilor noastre în legătură cu principiul conservării masei materiale și cu principiul conservării energiei. Dacă avem de-a face cu procese în care variațiile energiei nu sînt mari, principiul clasic al conservării masei va fi și mai departe aplicabil. Tot astfel, dacă nu vom avea de-a face cu transformarea materiei corpusculare în energie radiantă, (care apare de exemplu la eliberarea energiei atomice) atunci principiul conservării energiei va rămîne de asemenea valabil, fără nici o rezervă. Dacă însă aceste condiții nu sînt îndeplinite, trebuie să ținem seama de principiul echivalenței dintre masa materială și energie și de relația cantitativă dintre aceste două mărimi arătată mai sus. În acest caz, principiul conservării masei materiale și principiul conservării energiei, nu numai că sînt satisfăcute, dar devin și echivalente.

Dezvoltarea științei duce la formularea unor legi noi. Legile vechi însă nu sînt abolite cu totul. Ele rămîn și mai departe în vigoare, dar se precizează numai condițiile în care aceste legi sînt valabile, adică se îngustează limitele lor de aplicabilitate!

Relaţia dintre masa materială şi energie, stabilită de teoria relativităţii, a găsit confirmarea sa experimentală, nu numai în eliberarea energiei atomice. O vom ilustra cu încă un exemplu. Viteza luminii este uriaşă. Cît timp rămînem pe terenul fizicii clasice sîntem liberi să ne închipuim corpuri care s-ar putea deplasa cu o viteză mult mai mare decît viteza luminii. În mecanica clasică, viteza poate să primească orice valoare, oricît de mare. Fizica modernă intervine şi aici, determinînd revizuirea şi a acestei concepţii. După teoria relativităţii, există o anumită *viteză-limită* (maximă) *pe care nici o viteză a corpurilor în mişcare din univers nu o poate depăşi.*

La fel cum nu ne putem închipui masa (materială) negativă sau temperatura mai joasă decît zero absolut, tot aşa (după teoria relativităţii) nu ne putem închipui o viteză mai mare decît viteza luminii. Această viteză a luminii este acea viteză limită pe care nici o viteză a corpurilor în mişcare nu o poate depăşi.

Să ne închipuim un corp aflat în repaus. El are o anumită masă *m*. O numim *masă de repaus* a corpului respectiv. Să ne închipuim apoi că acest corp este pus într-o mişcare extrem de rapidă, că viteza lui este numai cu puţin mai mică decît viteza luminii, ceea ce înseamnă că ea atinge aproape valoarea-limită (maximă) pe care o poate avea o viteză. Oare masa acestui corp va suferi vreo schimbare în acest caz? Fizica clasică dă un răspuns negativ. Să ne gîndim însă la relaţia dintre energie şi masă, introdusă de fizica modernă. Corpul care se află în mişcare are o energie mai mare decît un corp în repaus. La energia reprezentată prin masa de repaus a corpului respectiv, se mai adaugă şi energia mişcării sale. Energia totală şi prin urmare masa totală, vor suferi o schimbare. De aici concluzia: *masa unui corp este o mărime variabilă şi creşte odată cu viteza acestui corp.*

Teoria relativităţii prevede nu numai variaţia masei unui corp odată cu viteza lui, dar prevede şi modul cum variază această masă în funcţie de viteza corpului. Aici întîlnim iarăşi cunoscutele metode de gîndire. Mişcarea pămîntului în jurul soarelui se face cu o viteză mică în comparaţie cu viteza luminii, căci are abia valoarea de 30 de km/s. Vitezele de record ale avioanelor rapide cu reacţie, ale obuzelor, ale rachetelor, sînt incomparabil mai mici.

Pentru viteze atît de mici, dispare practic orice diferență dintre mecanica clasică și cea relativistă. Cele mai subtile măsurători n-au fost capabile să descopere aici dependența dintre masă și viteză. Problema s-ar prezenta cu totul altfel dacă am putea realiza viteze numai cu puțin mai mici decît viteza luminii sau cel puțin de același ordin. *Teoria prevede că masa unui corp crește rapid, cînd viteza lui se apropie de viteza luminii*, și că pentru o viteză egală cu aceea a luminii, masa acestui corp devine infinit de mare. În mecanica clasică, viteza poate fi oricît de mare, pe cînd masa corpului este constantă și bine definită. În teoria relativității este tocmai invers: Există o viteză-limită, viteza luminii, constantă și bine definită (în vid) dar în schimb masa corpului poate crește nelimitat. O clipă de gîndire și vom vedea că revizuirea concepției despre viteză, făcută de teoria relativității, este strîns legată de revizuirea concepției despre masă. Dacă masa unui corp este uriașă, trebuie o forță de asemenea uriașă, pentru a determina o creștere oarecare a vitezei sale, numită accelerație. Cu cît viteza unui corp se apropie de viteza luminii, cu atît masa lui devine mai mare și cu atît *creșterea vitezei* sale (accelerația) se obține mai greu, deoarece această creștere necesită forțe din ce în ce mai mari pentru a fi realizată. În momentul cînd *viteza corpului este egală cu aceea a luminii*, deci cînd masa corpului devine infinit de mare, atunci accelerația sa nu mai poate fi realizată (devine nulă).

Astfel se atinge valoarea limită a vitezei. Vedem aici sub un alt aspect în ce fel apare noțiunea de viteză limită, pentru care masa corpului are o valoare infinit de mare. Verificarea experimentală a acestor concluzii ale teoriei relativității, ar necesita deci construirea unor tunuri care să arunce proiectile cu o viteză uriașă, cît mai apropiată de viteza luminii. Numai în cazul acesta am putea constata dependența dintre masa unui corp și viteza lui. În laboratorul naturii întîlnim într-adevăr proiectile a căror viteză se apropie de aceea a luminii. Aceste proiectile sînt electronii, iar tunurile care aruncă cu viteze uriașe aceste proiectile sînt atomii elementelor radioactive. Radiațiile beta emanate de substanțele radioactive sînt roiuri de electroni, care zboară cu o viteză uriașă. Cercetînd devierile lor în

cîmpul electric și magnetic, s-a stabilit masa acestor electroni și s-a constatat într-adevăr că ea depinde de viteză și anume în modul prevăzut de teoria relativității. Astăzi sîntem în stare să construim aparate uriașe și complicate, cu ajutorul cărora putem imprima electronilor și altor particule niște viteze uriașe. S-a stabilit și aici că mișcarea acestor particule decurge în conformitate cu legile stabilite de teoria relativității. În acest exemplu întîlnim din nou cei doi factori esențiali ai muncii creatoare: previziunea anumitor fapte de către teorie și verificarea lor cu ajutorul experienței.

Despre spectrul hidrogenului

Să revenim acum la problema structurii atomilor. Să vedem mai întîi cum este alcătuită materia din cuante elementare de electricitate: electroni, protoni și neutroni, și apoi să trecem la prezentarea acelor frumoase idei pe care Niels Bohr le-a introdus în știință. La baza teoriei lui Bohr întîlnim probleme impuse științei de către experiență.

Soluționarea lor cerea idei noi și îndrăznețe. Să formulăm acum problema experimentală din care s-a dezvoltat mai tîrziu teoria structurii atomilor.

În fiecare noapte străzile orașelor mari strălucesc și sclipesc în luminile multicolore ale reclamelor. Sursa majorității lor sînt tuburile cu neon. Descărcările electrice în tuburi produc frumosul fenomen al luminiscenței gazului. Să ne închipuim acum, că punem un astfel de tub luminos în fața spectroscopului. Spectroscopul este un aparat care îndeplinește, cu mai multă sensibilitate și precizie, rolul prismei: descompune lumina în componentele ei, adică face analiza luminii. Lumina soarelui privită la spectroscop prezintă un spectru continuu. În el sînt reprezentate toate lungimile de undă. Alt caracter are în schimb aspectul spectrului, dacă sursa lui este un gaz, prin care trece un curent electric de înaltă tensiune. Observăm atunci în spectru grupe de linii colorate. În locul unui fond continuu multicolor, ca un spectru solar, apar pe un fond întunecat niște linii luminoase, foarte înguste. Fiecare linie luminoasă, dacă este destul de îngustă, corespunde unei lungimi de undă bine definite. Dacă de exemplu într-un spectru vizibil produs de

un gaz observăm 20 de linii luminoase, putem caracteriza aceste linii cu ajutorul a 20 de numere, care exprimă lungimile de undă corespunzătoare.

Cercetînd la spectroscop diferite elemente chimice, *în stare gazoasă*, s-a stabilit că ele prezintă grupuri diferite, *specifice*, de linii luminoase, deci și grupuri specifice de numere, reprezentînd lungimile de undă corespunzătoare. În univers nu există două elemente chimice cu grupuri de linii identice, după cum nu există doi oameni cu aceleași amprente digitale.

Pe această bază s-a dezvoltat în fizică și chimie analiza spectrală, care permite descoperirea chiar și a unor urme foarte mici dintr-un element, numai prin simpla analiză spectroscopică a liniilor spectrale ce-l caracterizează. Dar grupările caracteristice de linii descrise aici există, nu numai în regiunea spectrului vizibil. Ele apar și în regiunea infraroșului, a ultravioletului și chiar în regiunea spectrului care corespunde razelor Roentgen. În ansamblul liniilor catalogate de fizicieni și în coloanele de numere care exprimă diferite lungimi de undă — și care s-ar părea că nu au nici o legătură între ele — noi începem să întrezărim cu încetul că și aici există legi. În repetate rînduri putem înlocui coloane întregi de numere printr-o singură formulă simplă. Dacă cercetăm sistematic spectrele diferitelor gaze și vapori metalici, constatăm că liniile spectrale formează un fel de familii sau serii cu anumite caracteristici înrudite. Vom vedea mai tîrziu că există cîteva familii de acest fel.

Să caracterizăm mai de aproape acele linii, pornind de la exemplul cel mai simplu. Luăm un tub de descărcare conținînd elementul chimic cel mai ușor și după cum vom afla mai tîrziu, — cu structura atomică cea mai simplă, și anume hidrogenul. Cercetăm liniile spectrului său la spectroscop. Este spectrul atomului și nu al *moleculei* gazului. Descărcarea de înaltă tensiune desface moleculele hidrogenului în atomi, pe care îi excită să emită radiații alcătuite din *unde* de anumite lungimi, sau — folosind terminologia corpusculară — din fotoni cu anumite *energii*.

În anul 1885 *Balmer*, un profesor modest de gimnaziu din Basel, observă pentru prima oară că numerele care ex-

primă lungimile de undă ale liniilor hidrogenului se supun unei legi exprimate printr-o formulă relativ simplă.

În partea vizibilă a spectrului dat de hidrogen există cinci linii:

roșie,	verde,	albastră,	violetă,	violetă
6 563 Å	4 861 Å	4 340 Å	4 102 Å	3 970 Å

În rîndul al doilea sînt trecute lungimile de undă (exprimate în Ångstromi), care corespund diferitelor linii. Toate aceste linii aparțin unei anumite familii, unei anumite serii. Denumirea de seria lui Balmer, dată acestei serii, este un monument ridicat de știință primului făuritor al legii care guvernează spectrele elementelor.

Nu prezentăm aici formula relativ simplă, numită formula lui Balmer, care ne permite să calculăm fiecare lungime de undă în parte.

Vom caracteriza pe scurt proprietățile liniilor care compun o anumită serie sau familie de linii spectrale.

Fiecare serie are *un început și un sfîrșit*. Prima linie a seriei, numită *frontală*, este de obicei cea mai puternică și are cea mai mare lungime de undă. Liniile următoare ale seriei sînt din ce în ce mai slabe și din ce în ce mai deplasate spre undele scurte, adică înspre violet. Distanțele între liniile următoare sînt din ce în ce mai mici. La sfîrșitul seriei, liniile spectrale se află așa de aproape una de alta, încît nu pot fi distinse decît cu un spectrograf special. Fig. 4 reprezintă schematic aspectul unei astfel de serii.

După cum am spus, cu formula lui Balmer se poate calcula lungimea de undă a diferitelor linii ale seriei, precum și a liniei de la sfîrșit. Să prezentăm acum formula foarte simplă, care ne dă lungimea de undă de la sfîrșitul seriei.

Avem:

$$\textit{lungimea undei de la sfîrșitul seriei lui Balmer} = \frac{4}{\textit{constanta lui Rydberg}}$$

Această formulă ne arată că putem calcula foarte simplu lungimea undei de la sfîrșitul seriei. Pentru aceasta împărțim numărul 4 printr-un anumit număr constant, numit constanta R a lui Rydberg, care are valoarea

$$R = 109\ 677$$

După efectuarea acestor calcule obținem lungimea de undă în centimetri. Pentru seria lui Balmer vom afla că linia

de la sfîrşitul ei se află în violet şi lungimea undei este: 3 647 Å.

Opera lui Balmer constituie un progres esenţial în cunoaşterea structurii complicate a spectrelor. Trăsăturile caracteristice care ne arată istoria evoluţiei acestei probleme apar în ştiinţă foarte des şi la alte probleme. Primul pas

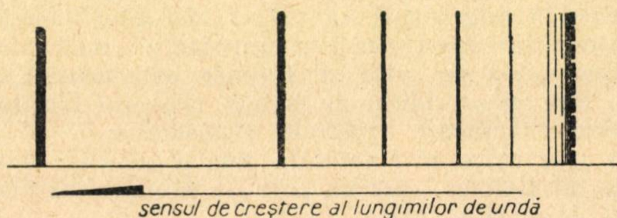


Fig. 4 Imaginea schematică a unei serii de linii spectrale

constă în înregistrarea seacă a faptelor, în cazul nostru în catalogarea lungimilor de undă. Al doilea pas este înlocuirea unei serii de numere care nu spun nimic, printr-o formulă simplă şi uşor de înţeles. Dar acesta nu este ultimul pas. De ce tocmai o astfel de formulă şi nu alta determină distribuţia liniilor? Ce importanţă are în fizică, constanta lui Rydberg? De ce are ea tocmai această valoare şi nu alta? Cum se poate găsi un răspuns la întrebările de mai sus? Am spus înainte că ne sînt cunoscute cărămizile din care este alcătuit universul. Aceste cărămizi sînt: electronii, protonii şi neutronii. Dar cum este construită materia din aceste granule? Trebuie să ne facem o astfel de imagine despre ea, încît să înţelegem legile care determină structura liniilor spectrale. Undele emise de atom aduc cu ele veşti din lumea microfizică. Din coloanele care cuprind cifre aride reprezentînd lungimi de unde, trebuie să ghicim în ce mod este alcătuit atomul din electroni, protoni şi neutroni.

Tocmai acest lucru a reuşit să-l facă Bohr.

Să revenim la problema spectrului hidrogenului. Să prezentăm acum şi alte amănunte importante ale experienţelor. *Lyman* a descoperit şi el o altă serie de linii în spectrul hidrogenului. Ea se află departe, în ultraviolet. Şi ea pre-

zintă o linie frontală și un sfîrșit al seriei. Să scriem și de data aceasta formula pentru sfîrșitul seriei:

$$\textit{lungimea undei de la sfîrșitul seriei lui Lyman} = \frac{1}{\textit{constanta lui Rydberg}}$$

Observăm că această formulă are o formă analogă cu formula care reprezintă sfîrșitul seriei lui Balmer. Diferenţa constă în aceea că în seria lui Lyman, apare la numărător 1 și nu 4. Lungimea undei de la sfîrșitul seriei lui Lyman este deci de 4 ori *mai mică* decît aceea de la sfîrșitul seriei lui Balmer. Rezultă din aceasta (cum s-a spus înainte) că seria Lyman se află departe în ultraviolet.

Trebuie să mai remarcăm că în regiunea infraroșie a spectrului, *Paschen* a descoperit încă o serie de linii ale hidrogenului. Găsim și în cazul acesta un raport analog:

$$\textit{lungimea undei de la sfîrșitul seriei lui Paschen} = \frac{9}{\textit{constanta lui Rydberg}}$$

Caracteristic pentru toate aceste formule, este faptul că în ele găsim aceeași constantă și anume constanta lui Rydberg. Aceasta apare nu numai în formulele care exprimă lungimea undelor din spectrul hidrogenului. O întîlnim și la alte spectre, adică și la alte elemente. Valoarea ei a fost obţinută prin observaţie directă asupra valorilor lungimilor de undă. Vom vedea mai tîrziu, că teoria a reușit să ne explice, de ce constanta R posedă tocmai valoarea pe care am arătat-o mai înainte și nu alta.

Analogia între formulele corespunzătoare diferitelor serii, ne permite să tragem anumite concluzii. Pentru aceasta să scriem din nou formulele de mai sus, dar într-o formă puţin modificată:

$$\textit{lungimea de undă la sfîrșitul seriei lui Lyman} = \frac{1 \times 1}{\textit{constanta lui Rydberg}};$$

$$\textit{lungimea de undă la sfîrșitul seriei lui Balmer} = \frac{2 \times 2}{\textit{constanta lui Rydberg}};$$

$$\textit{lungimea de undă la sfîrșitul seriei lui Paschen} = \frac{3 \times 3}{\textit{constanta lui Rydberg}}.$$

O privire aruncată asupra acestor formule, ne duce la concluzia că mai există departe în infraroşu şi alte serii, pentru care lungimile undelor de la sfîrşitul seriilor vor fi:

$$\lambda_{Br} = \frac{4 \times 4}{\textit{constanta lui Rydberg}}\ ;^{*}$$

$$\lambda_{Pf} = \frac{5 \times 5}{\textit{constanta lui Rydberg}}\ .^{**}$$

Numărătorii rapoartelor sînt deci pur şi simplu pătratele numerelor naturale succesive.

Într-adevăr, liniile acestor serii au fost descoperite. Din aceste rapoarte mai rezultă că departe, în ultraviolet, nu vom mai descoperi alte linii în afară de acelea care apar în seria lui Lyman.

Modelul atomului de hidrogen

Explicarea legii care stă la baza spectrului hidrogenului constituia prima piatră de încercare a teoriei lui Bohr. Vom prezenta aici numai trăsăturile generale ale acestei teorii. Ea este extrem de simplă în structura ei matematică. Renunţînd la metodele matematicii, putem prezenta aici numai anumite contururi ale acestei teorii îndrăzneţe şi frumoase.

Cum este alcătuit atomul de hidrogen? Ştim că atomul de hidrogen nu posedă nici un fel de sarcină electrică, iar hidrogenul fiind cel mai uşor dintre toate elementele, rezultă că atomul de hidrogen trebuie să fie cel mai simplu dintre atomi.

Atomul de hidrogen este deci format dintr-un proton şi un electron.

Trecem la problema cea mai esenţială: Cum este alcătuit atomul hidrogenului dintr-un proton şi un electron? Să ne închipuim, după Bohr, că în jurul protonului circulă electronul, la fel ca luna în jurul pămîntului, sau ca pămîntul în jurul soarelui. Protonul este soarele, care atrage, iar electronul este ca o planetă uşoară care circulă în jurul protonului.

---

* Seria lui Brackett (*N.R.*).
** Seria lui Pfund (*N.R.*).

Protonul are sarcină pozitivă, electronul sarcină negativă, dar egală în ceea ce priveşte valoarea ei absolută.

Pămîntul se mişcă în jurul soarelui, datorită atracţiei gravitaţionale. În cazul atomului de hidrogen, atracţia gravitaţională nu joacă nici un rol esenţial, căci masele protonului şi electronului sînt prea mici. În schimb apare aici o forţă de atracţie incomparabil mai mare decît forţa gravitaţională: este forţa electrică de atracţie dintre două sarcini egale şi de semne contrare. Legea care guvernează această atracţie este legea lui Coulomb, analogă în formă cu legea atracţiei universale. De aici rezultă rotirea electronului în jurul protonului (în concordanţă cu legea lui Coulomb), după cum şi în sistemul planetar mişcarea de revoluţie a unei planete în jurul soarelui este în concordanţă cu legea gravitaţiei universale a lui Newton.

Masa atomului de hidrogen alcătuit în felul acesta este concentrată aproape exclusiv în proton. Să ne amintim că masa atomului de hidrogen este aproape egală cu masa protonului. Electronul are o masă aproape de 1 840 de ori mai mică decît masa protonului, adică decît masa atomului de hidrogen. De aceea, cînd apreciem masa atomilor de hidrogen şi a altor elemente, putem considera masele electronilor ca neglijabile. Protonul atrage electronul, dar şi electronul atrage protonul. Acceleraţia protonului va fi însă de 1 840 de ori mai mică decît acceleraţia electronului uşor. De aceea ne permitem să admitem cu aproximaţie, că în jurul unui proton considerat imobil, se mişcă electronul, la fel cum procedăm în astronomie, cînd admitem aproximaţia că o planetă se învîrteşte în jurul soarelui considerat imobil.

Am schiţat aici analogia dintre sistemul planetar şi atom. Imaginaţia savantului construieşte deci lumea microfizică din interiorul atomului, după modelul sistemului planetar al lumii macrofizice.

Dacă imaginea atomului alcătuit în felul acesta ne permite să explicăm faptele cunoscute din experienţă şi să prevedem altele noi, atunci putem admite că într-o anumită măsură această imagine reflectă structura reală a atomului. Dar nu putem împinge prea departe analogia dintre lumea planetelor şi norilor şi lumea din interiorul atomilor.

Bohr a înţeles că nu avem voie să introducem concepţiile din macrofizică în lumea microfizică. Esenţiale nu sînt analogiile, ci tocmai diferenţele dintre legile care conduc sistemul planetar şi lumea din interiorul atomului. Trecem acum la caracterizarea acestor diferenţe.

Să ne închipuim un oraş ridicat după un plan special ales dinainte. Terenul pe care se ridică oraşul este perfect plan. Toate casele au etaje absolut de aceeaşi înălţime, de exemplu 3m. Este permis de a construi case cu un număr de etaje ales după bunul plac, dar distanţa dintre etaje nu poate fi mai mică sau mai mare de 3 m. La fiecare etaj trăiesc oameni, care pot ajunge în apartamentul lor cu ajutorul unui ascensor. Despre locuitorii unui astfel de oraş se pot spune următoarele: locuitorii oraşului, cu excepţia celor din ascensoare, nu se pot afla la un moment dat decît la nivelele: 0, 3, 6, 9 etc. m. Într-un astfel de oraş par să existe nişte planuri strict delimitate în spaţiu, în care trăiesc locuitorii lui. Distanţa reciprocă între aceste planuri este de 3 m. Dar locuitorii pot schimba planurile la nivelul cărora vor să stea cu ajutorul ascensorului.

Să revenim acum la modelul atomului. Presupunem, împreună cu fizicianul Bohr, că în jurul protonului se roteşte un electron pe o orbită circulară şi că protonul se află în mijlocul acestui cerc. Cît de mare este raza cercului pe care se roteşte electronul? În fig. 5 vedem nişte cercuri concentrice. Ele sînt însemnate cu cifrele *I*, *II*, *III* etc. Să ne închipuim că electronul circulă la un moment dat, tocmai pe orbita *I*. S-ar părea că alegerea acestui drum este pur întîmplătoare. Cu alte cuvinte electronul ar putea circula tot aşa de bine pe oricare altă orbită aşezată între *I* şi *II*, tot aşa după cum şi în sistemul planetar, întîlnim diferite orbite ale planetelor. Existenţa acestor orbite diferite ale planetelor este datorită purei întîmplări, fiind legată de geneza sistemului planetar, astfel că, în concordanţă cu legile mecanicii clasice, razele orbitelor pot lua cele mai variate valori, după cum şi într-un oraş în care nu există planuri prestabilite de construire, locuitorii oraşului pot sta la orice nivel. În punctul acesta teoria lui Bohr rupe legătura cu concepţiile mecanicii clasice. *Nu orice orbită este permisă.* Dacă cercurile *I*, *II*, *III* etc. reprezintă orbite pe care le acceptă teoria lui Bohr, în cazul acesta mişcarea pe oricare orbită situată între *I*,

II, *III* etc., este exclusă. Introducerea unor anumite orbite *posibile* sau *permise*, este ceva aproape paradoxal. Din punctul de vedere al fizicii clasice, aceasta înseamnă introducerea discontinuităţii în încă un domeniu de cercetare a fenomenelor fizice. Razele orbitelor nu pot varia în mod continuu ci numai prin salturi, adică discontinuu. Observăm analogia cu acel oraş imaginar, în care există norme riguroase privind construcţiile, care permit locuitorilor să trăiască numai la anumite nivele bine precizate.

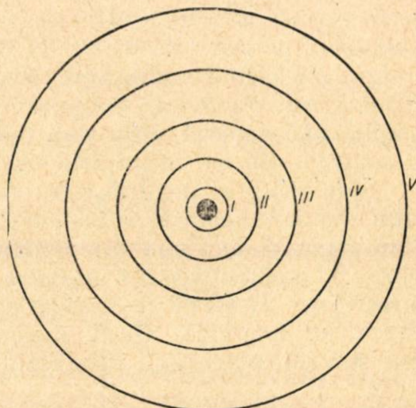


Fig. 5 Cercurile pe care poate circula un electron în jurul protonului (figura nu respectă proporţiile reale)

În ce fel află Bohr razele orbitelor sale? Cît de mari sînt razele cercurilor *I*, *II* etc.? Trebuie să trecem peste răspunsul la aceste întrebări, mulţumindu-ne numai cu prezentarea cîtorva observaţii de ordin general. Bohr formulează o anumită normă simplă, cu ajutorul căreia se pot calcula orbitele permise sau aşa-zisele orbite cuantice. Raza orbitei *I* depinde nu numai de mărimile caracteristice ale materialului din care este construit atomul, adică depinde nu numai de masa materială şi de sarcina electrică a electronului. Este esenţial faptul că raza acestei orbite depinde şi de mărimea pe care am numit-o *constanta h a lui Planck*, a cărei valoare este:

h=0,000 000 000 000 000 000 000 000 006625 erg. secundă şi pe care teoria cuantelor a introdus-o în ştiinţă. În felul acesta teoria cuantelor, care a izvorît din problemele radiaţiilor, a pus stăpînire pe un nou domeniu de fenomene.

Din teoria lui Bohr rezultă pe baza calculelor, că *raza primei orbite cuantice (I) = 0,53* Å, adică numai cu puţin mai mare decît jumătate din a suta milioana parte dintr-un centimetru. Razele orbitelor următoare sînt mai mari, adică

raza orbitei *II* este de 4 ori mai mare, raza orbitei *III* de 9 ori mai mare, a orbitei *IV* de 16 ori mai mare etc... Razele cresc deci ca pătratele numerelor naturale.

Să considerăm un electron circulînd pe una din orbitele cuantice ale atomului de hidrogen. El are o anumită energie totală datorită faptului că se află într-un cîmp electric și că se mişcă în jurul nucleului. Întrebăm: oare energia datorită acestei mişcări a electronului, suferă vreo schimbare? Răspunsul pe care-l dă teoria lui Bohr este cu totul limpede: energia mişcării electronului circulînd pe una din orbitele permise *este constantă*. Răspunsul acesta nu este însă nici simplu, nici natural, cum vom vedea imediat, căci el se află în contradicţie cu principiile fizicii clasice.

Spre sfîrşitul secolului trecut, sub conducerea eminentului fizician Lorentz, a fost dezvoltată teoria electronică. Vom prezenta aici una din concluziile la care duce această teorie. Să ne închipuim că mişcarea electronului este uniformă şi rectilinie. O astfel de mişcare poate dura veşnic, deoarece viteza electronului, fiind mereu constantă ca direcţie, sens şi valoare, energia electronului nici nu creşte, nici nu scade.

Dacă însă mişcarea electronului este uniformă dar nu este rectilinie, ci se face pe o anumită orbită circulară, atunci conform cu teoria electronică, o parte din energia corespunzătoare mişcării rectilinii ar trebui să se piardă în spaţiu sub formă de energie electromagnetică şi electronul să emită radiaţii. În acest caz, viteza electronului ar tot scădea, raza orbitei s-ar tot micşora, pînă cînd în cele din urmă, electronul ar cădea pe nucleul atomului şi s-ar opri asemenea unui satelit artificial al Pămîntului. Răspunsul pe care-l dă Bohr în această problemă este în contradicţie evidentă cu teoria electronică. Din teoria electronică rezultă, după cum am văzut, că electronul, în cursul mişcării sale pe orbită, trebuie să emită radiaţii, reducîndu-şi în acelaşi timp viteza. Conform teoriei lui Bohr, dimpotrivă, energia electronului care se învîrteşte pe o anumită orbită, nu suferă nici o schimbare, viteza lui rămîne constantă, electronul nu radiază. Spunem că mişcarea electronilor pe orbitele lui Bohr este *staţionară*. Vedem deci că în două puncte esenţiale, şi anume în ceea ce priveşte alegerea orbitelor cuantice şi în ce priveşte invaria-

bilitatea energiei electronului, modelul lui Bohr se depărtează net de legile mecanicii clasice.

Teoria lui Bohr ne permite să calculăm energia pe care electronul o posedă pe diferite orbite ale sale. Energia electronului pe orbita *I* este cea mai mică. Ca şi în cîmpul gravita-

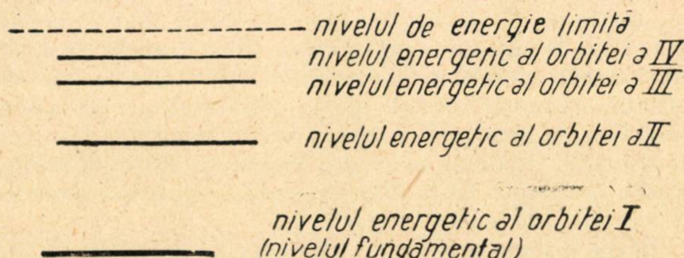


Fig. 6 Desen schematic prezentînd nivele de energie care corespund diferitelor orbite în modelul atomului lui Bohr

ţional (în cazul diferitelor niveluri), tot aşa şi aici, trecerea electronului de la orbita *I* la orbita *II*, necesită cheltuirea unei anumite cantităţi de energie. Energia electronului aflat pe orbita *II* este deci mai mare, iar energia electronului pe orbita *III* este şi mai mare. În fig. 6 am reprezentat grafic nivelurile de energie, care corespund mişcărilor electronului pe diferite orbite. Cel mai scăzut nivel de energie este cel al orbitei *I*. Din teorie rezultă că diferenţa dintre două niveluri de energie *vecine* devine din ce în ce mai mică cu cît ne depărtăm mai mult de proton. Linia întreruptă arată limita superioară a energiei, de care electronul se apropie din ce în ce mai mult, ridicîndu-se pe orbitele cuantice din ce în ce mai înalte, deci depărtîndu-se din ce în ce mai mult de proton. Electronul ajungînd la nivelul de energie de la periferia atomului şi depăşindu-l se eliberează prin aceasta, de sub acţiunea protonului, părăseşte atomul lăsînd în el numai protonul, fără electron.

Să analizăm acum problema esenţială: În ce fel are loc emisiunea liniilor hidrogenului?

În stare normală atomii hidrogenului au energia cea mai scăzută. În toţi atomii, electronii se află atunci la nivelul de energie cel mai de jos, numit *nivel fundamental*, adică circulă

în jurul protonului pe orbita *I*. Curentul electric trecînd prin hidrogenul în stare gazoasă scoate electronii de pe orbita lor fundamentală. Înăuntrul atomilor, efectuîndu-se o anumită cantitate de lucru mecanic, energia lor crește. Datorită acestui fapt, unii electroni sînt ridicați de pe orbita fundamentală pe orbita *II*, alții sînt ridicați pe orbite și mai îndepărtate, iar în sfîrșit la unii atomi, electronii sînt aruncați în afara sferei de acțiune a protonului, adică dincolo de orbitele cuantice. Din atomul de hidrogen nu mai rămîne atunci decît protonul, curentul electric joacă aici rolul acelui ascensor care ridică pe locuitorii orașului nostru imaginar la niveluri mai ridicate. Spunem că atomii se află în stare de *excitație*. Aceasta înseamnă că la diferiți atomi, nivelurile superioare sînt ocupate de către electroni.

Etapa a doua a acestui proces constă în aceea că, după un număr oarecare de *rotații staționare* în jurul nucleului, (adică rotații care se fac fără pierdere de energie), electronii revin iarăși, spontan, pe una din orbitele mai apropiate de nucleu sau chiar pe orbita fundamentală, din care vor fi din nou aruncați pe orbitele îndepărtate, prin acțiunea curentului electric care traversează gazul din tub și așa mai departe.

În ce constă mecanismul emiterii razelor? După Bohr, emiterea de radiații se petrece, nu în cursul rotațiilor staționare ale electronilor, ci tocmai în clipa revenirii sau căderii electronilor, de pe orbitele superioare pe cele inferioare. În cursul acestor salturi ale electronilor către interior, atomul pierde din energia absorbită. Energia pe care atomul o pierde în felul acesta, este emisă în spațiu sub formă de radiațiuni care dau acele linii ale spectrului hidrogenului observate în cursul experiențelor.

Să analizăm mai de aproape acest mecanism. Nivelurile de energie sînt delimitate cu precizie. Teoria lui Bohr ne permite să calculăm energiile care corespund diferitelor orbite staționare. Electronul sare de pe o anumită orbită superioară pe o anumită orbită inferioară. Putem calcula cu precizie cîtă energie a pierdut atomul prin acest salt spontan al electronului. Să admitem împreună cu Bohr, că această *energie pe care atomul o pierde în cursul saltului său către interior, este radiată sub forma unui foton*. În timpul saltului electronului către interior este expulzat un proiectil de lumină,

a cărui energie este riguros egală cu energia pierdută de atom prin acest salt al electronului. Folosind deci în descrierea fenomenelor optice terminologia teoriei corpusculare a luminii, putem spune: *Pierderea de energie a unui atom în clipa unui anumit salt electronic către interior, este egală cu energia fotonului emis.*

Spre exemplu, saltul de pe orbita a *III*-a pe orbita *I* produce o cuantă de energie, adică un foton de o anumită energie. Să nu uităm însă că în descrierea fenomenelor optice putem trece de la terminologia corpusculară la terminologia ondulatorie, cu ajutorul unei formule intermediare. Fotonului de o anumită energie bine definită îi corespunde o undă luminoasă de o anumită lungime de undă. În capitolul II (pag. 53) am arătat relația fundamentală în care intervine constanta lui Planck

$$\textit{energia fotonului emis} = \frac{h \times \textit{viteza luminii}}{\textit{lungimea de undă}}.$$

Legînd între ele cele două propoziții de mai sus, sub formă de egalitate, obținem un rezultat foarte important:

$$\textit{energia pierdută de atom prin saltul electronului în jos} = \frac{h \times \textit{viteza luminii}}{\textit{lungimea de undă}}.$$

Cu excepția lungimii de undă, cunoaștem bine toate mărimile care figurează în această ecuație. Să ne amintim că teoria ne permite să calculăm nivelul de energie al fiecărei orbite electronice și deci pierderile de energie ale atomului în cursul salturilor electronilor către nucleu. Cunoaștem de asemenea constanta h a lui Planck și viteza c a luminii. Din punct de vedere matematic avem o ecuație simplă cu o singură necunoscută, care este lungimea de undă cu ajutorul căreia putem calcula *lungimile de undă* λ, corespunzătoare diferitelor salturi ale electronilor. În felul acesta avem posibilitatea să verificăm dacă teoria lui Bohr ne dă în adevăr rezultate în acord cu experiența, adică dacă ne explică legile care guvernează spectrele atomice obținute pe cale empirică.

Să dezvoltăm mai amănunțit mecanismul emisiunii. *Începem cu seria lui Lyman.* Emiterea liniilor acestei serii apare datorită faptului că electronii din atomii excitați cad pe orbita cea mai de jos, adică pe orbita *I* a atomului.

În fig. 7 am reprezentat nivelul de energie corespunzător fiecărei orbite în parte. (Această figură schematică sub formă de etaje, ne sugerează un mod de exprimare simplist. Vom folosi expresiile „etajul *I*, *II* etc " în loc de nivelul de energie corespunzător orbitei *I*, *II*.) Căderea electronilor de la etajul *II* la etajul *I* este însoţită de emiterea unei radiaţii de o anumită lungime de undă. Se obţine astfel linia frontală a seriei Lyman. Căderii de la etajul *III* la etajul *I* îi corespunde linia următoare etc. şi în cele din urmă căderii electronilor de la etajul cel mai înalt, adică de la limită, la etajul *I*, îi corespunde linia limită a acestei serii. Însă, după cum am spus, prin căderea electronilor către nucleu, *atomul pierde energie*. Cu cît *pierderea de energie este mai mare* (deci cu cît săgeata din figură este mai lungă) cu atît lungimea undei respective este mai mică. Acest lucru se vede uşor din ultima formulă, în care lungimea de undă se află la numitorul fracţiei. Căderile electronilor de la etajele din ce în ce mai superioare, sînt însoţite de o pierdere de energie din ce în ce mai mare, de aceea, de fiecare dată apar mereu alte linii ale seriei deplasate din ce în ce mai mult înspre violet.

Mai atragem atenţia asupra lucrului următor: etajele superioare devin din ce în ce mai dese. Cu cît etajele învecinate se află mai sus, cu atît scade mai mult distanţa dintre ele. Săgeţile, a căror lungime caracterizează *energia* radiantă, diferă foarte puţin între ele, în cazul cînd căderea are loc între cele două etaje superioare vecine. În cele din urmă, constatăm că liniile mai îndepărtate sînt din ce în ce mai dese, astfel încît se ajunge la o linie marginală limită. Ea corespunde stării energetice iniţiale (dinainte de tranziţie), cînd electronul se află *aproape* în afara sferei de acţiune a protonului. Dacă protonul mai poate prinde electronul, care se află aproape în afara sferei lui de acţiune, atunci şi acest electron cade de la periferie la etajul cel mai de jos, adică pe orbita cea mai apropiată de nucleu. În cazul acesta este emisă o rază care corespunde liniei marginale a seriei lui Lyman. Toate concluziile arătate aici concordă perfect cu experienţa.

Să trecem acum la *seria lui Balmer*. Ea apare atunci cînd electronii sar în jos pe orbita a *II*-a, cum vedem în fig. 7 *b*. Linia frontală *H* a acestei serii ia naştere în clipa căderii electronului de la etajul *III* la etajul *II*. Diferenţa nivelu-

rilor de energie este mai mică, deci și lungimea undei mai mare decît la linia frontală a seriei lui Lyman. Înțelegem deci, că liniile seriei lui Balmer pot să apară în cuprinsul spectrului vizibil, dacă seria lui Lyman se află în ultraviolet.

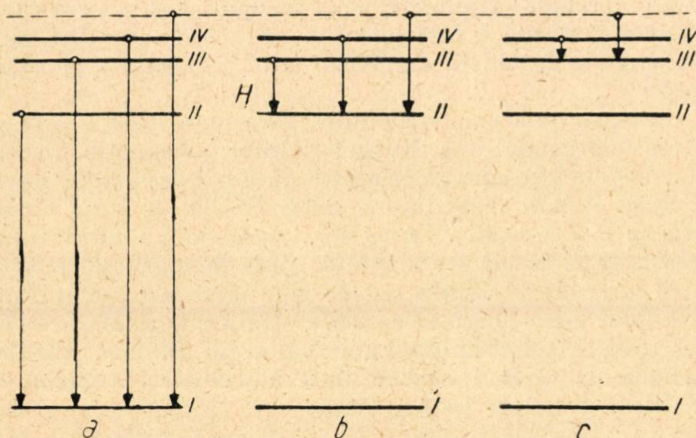


Fig. 7 Prezentarea schematică a emisiei liniilor din seria Lyman

În mod analog, tragem concluzii despre mecanismul de emitere a *seriei lui Paschen* (fig. 7 *c*), și a altor serii, care se află departe de infraroșu.

Toate concluziile obținute aici rămîn în perfectă concordanță cu experiența. Dar această concordanță nu este numai calitativă. Pe baza premiselor teoriei lui Bohr, obținem exact aceeași lege pe care a descoperit-o Balmer, legea care guvernează seriile spectrale ale hidrogenului. Experiența a formulat o problemă, pe care a rezolvat-o mai tîrziu teoria, datorită strălucitoarelor lucrări ale lui Bohr.

Aici se impune însă o anumită observație dictată de scepticism. Oare descoperirea lui Bohr este într-adevăr atît de importantă? Nu cumva în aceste trăsături oarecum ciudate ale teoriei vedem parcă un fel de procedare forțată, care constă din compunerea unor premise în așa fel, încît pe baza lor să ajungem la formula lui Balmer? Oare ruperea legăturii cu fizica clasică, formularea unor premise noi, sînt

absolut necesare? Nu cumva există o altă cale, care să ducă la aceste concluzii în mod mai simplu? Adeptul teoriei lui Bohr are ca răspuns un argument care cîntărește greu. Teoria lui Bohr duce, nu numai la legile lui Balmer găsite pe cale empirică. Ea dă cu mult mai mult, chiar în formularea ei inițială. Trebuie să spunem de la început că ea a avut chiar în prima perioadă a formulării ei, un succes esențial, care trece dincolo de cadrul explicării unei legi bazate pe experiență.

În fig. 7 observăm sus o linie întreruptă. Este limita pe care nu o trece nici una dintre nivelurile de energie discontinui. Vedem într-adevăr că aceste niveluri de energie devin din ce în ce mai dese, fără a trece dincolo de linia întreruptă care constituie limita lor superioară. Căderii unui electron de la etajul acela limită, pînă la etajul cel mai de jos, îi corespunde cuanta cu cea mai mare energie și linia cu cea mai mică lungime de undă, linia marginală a seriei lui Lyman. Din formula empirică a lui Balmer, rezultă lungimea de undă a acestei linii marginale. O găsim la pag. 79. S-o scriem încă o dată:

$$\textit{lungimea undei de la sfîrșitul seriei lui Lyman} = \frac{1 \times 1}{\textit{constanta lui Rydberg}}.$$

Ne amintim că această constantă este o mărime calculată pe baza experienței și că valoarea ei este:

$$\textit{constanta lui Rydberg} = 109\,677.$$

Dacă raționamentele lui Bohr ne duc la formulele obținute pe baza experiențelor, în cazul acesta ar trebui, după cît se pare, să obținem pentru lungimea de undă de la capătul seriei lui Lyman, același raport ca mai sus. Dar nu este așa. În teoria lui Bohr nu există loc pentru nici un fel de constantă de felul constantei lui Rydberg. În această teorie toate mărimile se calculează pe cale teoretică, pe baza acelor mărimi care caracterizează modelul atomului. Deducînd deci teoretic formula pentru linia de la sfîrșitul seriei lui Lyman, în locul constantei lui Rydberg vom găsi la numitor o anumită mărime, care depinde de alte constante, pe care le scriem aici încă o dată:

Sarcina electronului = 0,000 000 000 477 unități CGS electrostatice
Masa electronului = 0,(28 zerouri) 09 g
Viteza luminii = 29 979 290 000 cm/s
Constanta lui Planck = 0, (27 zerouri) 06625 erg.s.

(Trecem cu vederea explicarea mărimilor puse lîngă valoarea numerică a constantei lui Planck.) Toate constantele scrise aici ne sînt cunoscute și au fost arătate în paginile precedente ale acestei cărți. Nu ne mirăm că mărimea care apare în formulă depinde de constantele caracteristice ale electronului, adică de sarcina sa electrică și de masa lui materială. Doar în modelul nostru al atomului care emite radiații, apare electronul circulînd în jurul protonului. Nu ne miră de asemenea, că întîlnim aici constanta *h* a lui Planck, căci teoria cuantelor a pătruns de două ori în modelul descris de noi. Aceasta s-a întîmplat prima dată la calcularea orbitelor cuantice, a doua oară, cînd am legat saltul în jos al electronului, de emiterea unei radiații de o anumită lungime de undă. În sfîrșit, în legătură cu dependența energiei fotonului de lungimea de undă, apare și viteza luminii. De aceea o vom găsi printre valorile de care depinde lungimea undei de la capătul seriei. Să scriem deci acest raport de dependență, care este o consecință necesară a teoriei lui Bohr.

În locul constantei lui Rydberg, va apare în ecuația care dă lungimea undei de la capătul seriei lui Lyman, următoarea mărime:

$$\frac{2 \times \pi^2 \times \textit{masa electronului} \times (\textit{sarcina electronului})^4}{\textit{Viteza luminii} \times (\textit{constanta lui Planck})^3}$$

Trebuie deci să înmulțim 2 cu π^2 adică $(3,14)^2$, cu masa electronului, cu sarcina electronului la puterea a patra, și să împărțim acest produs la viteza luminii și cu constanta lui Planck ridicată la puterea a treia. Cititorul care s-ar angaja să efectueze acest calcul simplu, dar plictisitor, ar ajunge la un rezultat surprinzător. Mărimea calculată în felul acesta este *absolut egală cu constanta lui Rydberg!*

Acest fapt a atras atenția tuturor savanților asupra teoriei lui Bohr. Înțelegem că în cunoașterea fenomenelor înconjurătoare am făcut un pas mare înainte.

Constanta lui Rydberg apărea inițial ca o constantă a naturii găsită pe cale experimentală. Teoria lui Bohr demonstrează că adevărul este altul, că această mărime depinde de alte constante deja cunoscute de noi. Această concordanță între experiență și teorie nu poate fi rezultatul unei întîmplări. Ea trezește speranțe motivate de dezvoltarea ulterioară a fizicii, că drumul ales poate duce la descoperiri noi și neașteptate.

Să ne aducem aminte de următorul fapt. Am spus că constanta lui Rydberg apare în toate formulele care aduc ordine în spectrele tuturor elementelor. Prin aceasta, importanța și valoarea descoperirii lui Bohr, cresc.

Să recapitulăm încă o dată premisele esențiale ale teoriei lui Bohr, în care această teorie se depărtează de fizica clasică:

1) Existența orbitelor cuantice.
2) Mișcarea de revoluție staționară a electronilor.
3) Emiterea cuantelor de energie în clipa salturilor în jos ale electronilor.

Fizica clasică și teoria lui Bohr

Toate argumentările noastre duse pe terenul fizicii clasice, prezintă un caracter de *determinism*. Am arătat mai înainte în ce constă aplicarea în fizică a metodei deterministe de gîndire: cunoaștem starea inițială a sistemului. Pe baza cunoașterii acestei stări cît și a legilor care guvernează sistemul, tragem concluziile privitoare la starea finală și stabilim cu ajutorul experienței concordanța dintre aceste concluzii și experiență. Nu cumva și în modelul lui Bohr observăm aceste trăsături de bază ale gîndirii fizice?

Electronul circulă de exemplu pe orbita IV. Putem oare să prevedem cînd și pe care orbită va cădea acest electron? Sau cu alte cuvinte: Cunoaștem starea inițială; putem oare, pe baza teoriei lui Bohr, să prevedem starea finală? Teoria lui Bohr nu ne oferă aceste posibilități. Să presupunem că electronul de pe orbita *IV* a sărit tocmai pe orbita *I*. Cunoaștem în cazul acesta starea inițială și starea finală. Din cunoașterea acestor două stări tragem o concluzie referitoare la emiterea unei anumite linii din seria lui Lyman, de o anumită lungime de undă. Metoda de gîndire este aici cu totul deosebită față de cea din fizica clasică. Nu din cunoașterea stării inițiale deducem starea finală a sistemului dat, ci din cunoașterea stării inițiale și finale a sistemului putem trage concluzii asupra modului cum decurge fenomenul.

Breșa făcută de teoria lui Bohr în fizica clasică este esențială și principială. Ea atacă nu numai bazele mecanicii clasice, ci și metodele ei de gîndire. Cunoașterea numai a stării inițiale a unui sistem microfizic ca atomul, nu ne

permite să deducem nici starea finală, nici modul cum decurge întregul fenomen. De asemenea, nici cunoaşterea numai a stării finale a sistemului nu este suficientă pentru deducerea trecutului acestui sistem. Este necesară cunoaşterea simultană, atît a stării iniţiale cît şi a celei finale; numai în acest caz cunoaştem cum a decurs întregul fenomen, respectiv emiterea undei de o anumită lungime.

Teoria lui Bohr formulează legile care privesc atomii izolaţi. Hidrogenul pe care-l cercetăm este format dintr-un număr uriaş de atomi. Această mulţime de atomi este condusă de legi statistice. Să presupunem că într-un moment dat există atomi cu diferite stări de excitaţie, nişte sisteme planetare în care electronii circulă pe diferite orbite permise, ca şi în oraşul nostru imaginar ai cărui locuitori se pot găsi la un moment dat la diferite etaje. Electronii care sar de la un anumit etaj la etaje inferioare, constituie sursa radiaţiilor. Dacă (relativ) cei mai mulţi electroni sar, de exemplu, de la etajul *III* la etajul *II*, în cazul acesta, linia frontală a seriei lui Balmer va apărea ca cea mai strălucitoare dintre toate. Această linie va apărea cu atît mai strălucitoare, adică *intensitatea ei luminoasă va fi cu atît mai mare, cu cît saltul respectiv va fi executat de mai mulţi electroni.* Este adevărat că legile lui Bohr ne permit să prevedem ce lungimi de undă sînt cuprinse în fiecare serie, însă *intensitatea* luminoasă a fiecărei linii din serie este guvernată de *legi statistice.*

Dorind să obţinem o imagine completă a respectivului fenomen căutăm explicaţia lui teoretică şi ne întrebăm: de ce tocmai anumite lungimi de undă şi nu altele, sînt cuprinse în spectrul hidrogenului? Apoi, de ce există un anumit raport şi nu altul între intensităţile luminoase ale liniilor din acest spectru? În primul caz este suficientă cunoaşterea legilor care guvernează sistemul microfizic, adică interiorul atomului de hidrogen. Aceste legi au fost formulate de către Bohr. Ca să cunoaştem însă intensităţile luminoase care corespund fiecărei linii în parte, trebuie să depăşim legile individuale care conduc atomul şi să aplicăm mulţimii de atomi metodele statistice.

Cît este de încurcată calea care duce la explicarea legilor spectrului! Mai întîi am formulat legile care guvernează atomul. Aici am fost nevoiţi să facem o serie de sacrificii.

Am renunţat la multe legi ale mecanicii clasice. N-am luat în considerare nici măcar cel mai esenţial lucru consacrat de secole în evoluţia fizicii, şi anume metoda *deterministă de gîndire*. Cu aceste sacrificii am obţinut legile care conduc fiecare sistem microfizic în parte. Dar acum nu sîntem în stare să controlăm direct aceste legi, pentru că nu putem realiza un sistem alcătuit dintr-un singur atom, iar la numărul uriaş de atomi sîntem nevoiţi să aplicăm legile statisticii.

Să revenim la exemplul oraşului nostru imaginar, în care casele sînt construite după o anumită normă. Am obţinut atunci legea individuală, că fiecare dintre locuitorii care nu se află în ascensor la un moment dat, nu se poate găsi decît la unul dintre niveluri 0, 3, 6, 9 etc. m. Am putea formula acum următoarea întrebare. Cîţi locuitori se află la fiecare nivel într-un moment dat, de exemplu la ora 12? Metoda prin care urmărim din minut în minut cum îşi petrece toată ziua fiecare locuitor, ca pe baza aceasta să aflăm locul în care se găsesc locuitorii la ora 12, n-ar fi aplicabilă, dacă oraşul ar avea de exemplu 1 000 000 de locuitori. În cazul acesta, am încerca să aflăm răspunsul pe baza unor anumite date statistice. La fel este şi cu mulţimea de atomi. Cunoaşterea legilor individuale nu este suficientă. La stabilirea intensităţii luminoase a fiecărei linii spectrale în parte ajungem abia prin aplicarea metodelor statistice.

Unui cititor înclinat spre scepticism, teoria lui Bohr îi trezeşte multe rezerve. Să încercăm să reconstituim mersul gîndirii lui.

În ştiinţă trebuie să admitem anumite metode deterministe de gîndire. În clipa în care renunţăm la metoda de gîndire deterministă, subminăm fundamentele ştiinţei. Teoria lui Bohr este un tip de gîndire ad-hoc, care urmăreşte explicarea unui sector relativ modest de fenomene. În cazul cînd acceptăm premisele ei, ajungem în conflict făţiş cu fizica clasică. Dar ce vom face în cazul acesta cu vastul domeniu de fapte pe care ni le explică tocmai fizica clasică? Vom fi oare în stare să înlăturăm fizica clasică şi să construim în locul ei o fizică nouă a atomului? Căci teoria lui Bohr singură nu ajunge pentru soluţionarea unei probleme de acest gen. De altfel chiar Bohr se bazează pe unele legi

ale fizicii clasice cînd admite interacţiunea dintre electron şi proton în conformitate cu legea lui Coulomb. Această folosire numai a unora dintre legile fizicii clasice şi aruncarea peste bord a altora, constituie un act arbitrar care merge prea departe. El arată lipsa unei metode de gîndire şi răpeşte fizicii consecvenţa logică, adică tocmai ceea ce constituie frumuseţea ei esenţială.

Să dăm cuvîntul unui adept entuziast al teoriei lui Bohr. Iată argumentele sale: Pentru întîia oară în evoluţia fizicii, ne aflăm în faţa problemei referitoare la cunoaşterea lumii microfizice, adică a lumii din interiorul atomului. Fireşte că cea mai simplă concepţie este aceea după care lumea microfizică este condusă de aceleaşi legi pe care le-am constatat în lumea macrofizică, cu alte cuvinte, că lumea microfizică este alcătuită după chipul şi asemănarea lumii macrofizice. Bohr este însă primul care renunţă la această prejudecată, dezvăluind astfel în faţa ştiinţei perspective şi posibilităţi noi.

Marii creatori în ştiinţă, cum sînt Faraday, Mendeleev, Einstein, Bohr şi alţii, caută căi proprii, căi noi. Imaginaţia creatoare dă lovituri puternice tradiţiei şi lărgeşte cadrele cunoaşterii noastre. Credinţa că vom fi în stare să construim imaginea lumii microfizice bazîndu-ne numai pe legile deterministe ale macrofizicii, cum ar fi legile mecanicii clasice, este o prejudecată dăunătoare. Iată faptul a cărui înţelegere o datorăm lui Bohr. Fizica clasică cuprinde un sector de fapte pe care le explică într-adevăr în mod clar şi simplu. Dar posibilităţile acesteia nu sînt nelimitate. Metodele fizicii clasice dau greş în lumea microfizică. Am văzut în cazul teoriei cinetice a gazelor că, atunci cînd avem de a face cu un sistem care cuprinde foarte mulţi indivizi, trebuie să renunţăm la informaţiile care se referă la modul cum se vor schimba mărimile caracteristice ale fiecărui individ în parte. În schimb metoda statistică ne dă totuşi anumite legi după care variază *valorile medii*, de exemplu viteza medie a unui număr foarte mare de molecule. Variaţiile acestor valori medii sînt determinate cu precizie prin metode statistice.

Fără îndoială că teoriei lui Bohr i se pot aduce anumite obiecţiuni justificate. Îngrijorător este, de exemplu, caracterul acestei teorii, care constă dintr-un ciudat conglomerat de

concepţii clasice şi cuantice. „Ne retezăm singuri craca de sub picioare", a spus Planck, făuritorul teoriei cuantelor, prezentînd această situaţie paradoxală în ştiinţă. Cu alte cuvinte, doborîm mecanica clasică folosind în acelaşi timp rezultatele ei acolo unde ne convine.

Dar aceste obiecţii vor fi oare suficiente ca să putem renunţa la teoria lui Bohr şi la rezultatele ei? Aceasta ar fi o concluzie cu totul nejustă. Teoria lui Bohr constituie prima breşă în fizica veche şi totodată prima încercare de a făuri o fizică nouă a atomului. Ca toate încercările deschizătoare de drumuri, ea ar putea apărea, din punct de vedere al dezvoltării ulterioare a ştiinţei, ca stîngace şi incompletă. Este sigur însă că o întoarcere înapoi la fizica clasică de la ideile pe care noua teorie le-a introdus în ştiinţă, nu mai este posibilă. Dimpotrivă, ştiinţa poate progresa numai dacă merge pe calea dezvoltării acestei noi concepţii.

Trebuie să înţelegem că acest schimb de păreri între un sceptic şi un entuziast, schimb de păreri pe care l-am prezentat aici, a putut să aibă loc numai în anul 1913. Astăzi acest schimb de păreri n-ar mai avea nici un sens. Dezvoltarea ştiinţei a arătat limpede că entuziastul a avut dreptate.

Iarăşi despre modelul atomului de hidrogen

Folosind ca exemplu tot hidrogenul, să schiţăm dezvoltarea ulterioară a concepţiilor ştiinţifice şi să prezentăm în liniile cele mai generale soarta teoriei lui Bohr. Dezvoltarea acestei teorii continuă în două direcţii. Numărul faptelor date de experienţă creşte, tehnica măsurării se dezvoltă din ce în ce mai repede, aparatele de cercetare, din ce în ce mai precise, furnizează mereu date experimentale noi. Acolo unde se observase înainte o concordanţă perfectă între teoria lui Bohr şi experienţă, fineţea şi precizia din ce în ce mai mare a măsurătorilor făcea să se dezvăluie în faţa noastră discordanţe sensibile. Experienţa pune în faţa teoriei probleme noi. Teoria se străduieşte însă, nu numai să se ţină în pas cu experienţa, ci încearcă chiar s-o depăşească. Eliberîndu-se de ipotezele iniţiale simplificatoare, teoria capătă acum un conţinut matematic mai complicat.

Ne amintim că succesul cel mai important, triumful iniţial cel mai mare al teoriei lui Bohr constă în legarea

constantei R a lui Rydberg de mărimile caracteristice ale atomului în general. Să scriem formula aceea încă o dată: constanta lui Rydberg =

$$\frac{2 \times \pi^2 \times \textit{Masa electronului} \times (\textit{sarcina electronului})^4}{\textit{Viteza luminii} \times (\textit{Constanta lui Planck})^3}$$

Ne întrebăm însă: de ce în această formulă a lui Bohr nu apare masa *protonului*, care precum știm diferă de masa electronului? Primim următorul răspuns: În argumentările noastre noi am folosit ipoteza că protonul se află în *repaus*, iar în jurul protonului-soare considerat imobil, circulă electronul planetar. Această ipoteză este numai parțial justificată de către marea masă a protonului (în comparație cu aceea a electronului). Să revenim însă la analogia cu sistemul solar. Putem și aici să admitem că mișcarea de revoluție a pămîntului în jurul soarelui se efectuează în jurul unui soare *imobil*, deoarece masa pămîntului este incomparabil mai mică decît masa soarelui. În realitate însă, dacă vrem să descriem mai precis mișcarea reciprocă a soarelui și a pămîntului pe baza mecanicii clasice, nu o putem raporta la soarele nemișcat, ci sîntem nevoiți să raportăm, atît mișcarea pămîntului cît și cea a soarelui, *la centrul lor de greutate comun.*

Să ne închipuim două sfere. Dacă una din ele are o masă de trei ori mai mare decît cealaltă, atunci centrul de greutate comun al celor două sfere se află de trei ori mai aproape de centrul sferei cu masa mai mare, adică *la un sfert din distanța care separă* centrele lor de masă.

Am reprezentat acest lucru în fig. 8, în care punctul C arată așezarea centrului de greutate comun. Centrul de greutate comun al soarelui și al pămîntului se află *în interiorul soarelui*, deoarece, după cum am spus, masa soarelui este incomparabil mai mare decît a pămîntului. De aceea, presupunînd că pămîntul se mișcă în jurul soarelui, considerat imobil, facem o eroare relativ mică. În astronomie ne întîlnim însă cu sisteme care cuprind așa-zicînd doi sori, ale căror mase sînt de același ordin. În acest caz, analizînd mișcările reciproce ale acestui gen de stele duble, trebuie să le raportăm la centrul lor de greutate comun, care nu se mai află în interiorul uneia dintre ele.

Să revenim acum la atom. Dacă vrem să înaintăm cu un pas mai departe în considerațiile noastre, dacă vrem să

obţinem rezultate mai precise în cercetările noastre, trebuie să ne eliberăm de ipotezele simplificatoare. Considerăm mişcarea electronului, nu în jurul protonului, considerat imobil, ci în jurul centrului de greutate comun al electronului şi protonului. Exprimînd în cazul acesta iarăşi cele gîndite de Bohr, obţinem un rezultat nou: formula dată

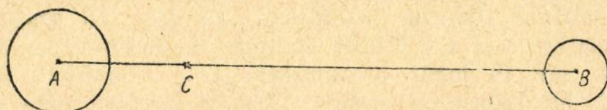


Fig. 8 Centrul de greutate comun al celor două corpuri

înainte pentru constanta lui Rydberg va suferi oarecare schimbare şi vom obţine un rezultat mai precis. Să numim valoarea calculată anterior (pag. 77) *valoarea aproximativă a constantei lui Rydberg*, iar aceea pe care o vom afla pe baza ipotezei că masele electronului şi protonului se mişcă în jurul centrului de greutate comun, s-o numim *valoarea mai precisă a constantei lui Rydberg*. Teoria ne dă atunci următorul rezultat:

$$\text{Valoarea mai precisă a constantei Rydberg} = \frac{\textit{valoarea aproximativă a constantei Rydberg}}{1 + \dfrac{1}{4 \times 1\,836}}$$

Dar ne întrebăm: oare precizia premiselor teoretice este însoţită de precizia metodelor de experimentare? Cu alte cuvinte, creşterea preciziei măsurării arată oare că valoarea mai precisă a constantei lui Rydberg corespunde mai bine experienţei decît valoarea ei aproximativă? Atragem atenţia asupra următorului fapt: cele două valori ale constantei lui Rydberg diferă puţin între ele: Numitorul raportului de mai sus este un număr care diferă puţin faţă de unitate. Valoarea mai precisă a constantei lui Rydberg este de astă dată, nu numai o funcţie a mărimilor care caracterizează electronul, ci în ea apare şi numărul 1836 care exprimă raportul dintre masa protonului şi masa electronului

Ne vom convinge mai tîrziu că experienţa ne dă un răspuns clar. Valoarea mai precisă a constantei lui Rydberg calculată pe cale teoretică prin înlăturarea ipotezelor sim-

plificatoare, concordă mai bine cu datele experimentale decît valoarea ei aproximativă. Observăm chiar de aici acele trăsături care caracterizează evoluţia concepţiilor teoretice. Concordanţa din ce în ce mai bună cu experienţa este răscumpărată de teorie prin pierderea simplităţii pe care o avusese la început.

Atomul de hidrogen şi teoria relativităţii

Am atras atenţia în cîteva rînduri asupra analogiei dintre structura atomului şi un sistem planetar. Am presupus împreună cu Bohr că mişcarea electronului se face pe orbite circulare. Trebuie să înlăturăm şi această ipoteză simplificatoare.

Înainte de Newton erau cunoscute cele trei legi ale lui Kepler, care se referă la mişcările planetelor în jurul soarelui. Analiza matematică arată că aceste trei legi, în genere complicate ca formulare, sînt o consecinţă a legii gravitaţiei universale, o lege simplă ca formulare. Mai mult, din legea gravitaţiei universale rezultă că legile lui Kepler constituie doar o primă aproximaţie plauzibilă în sistemul nostru planetar, tocmai datorită faptului că masa soarelui este foarte mare în comparaţie cu masa planetelor. Să cităm numai prima dintre cele trei legi ale lui Kepler. Ea sună astfel: Toate planetele se mişcă în jurul soarelui pe orbite în formă de elipse avînd un focar comun în care se află soarele.

Teoria lui Bohr se bazează pe legea lui Coulomb, care formal este analogă cu legea gravitaţiei universale. De aici rezultă concluzia că mişcarea electronului planetar are loc pe o orbită eliptică, iar în unul din focarele ei se află protonul-soare. Cercul poate fi considerat ca un caz particular al elipsei, fiind o elipsă degenerată, cu axele egale, ale cărei focare se confundă unul cu altul în centrul cercului. Trebuie să arătăm deci cele gîndite de Bohr pentru cazul mai general, înlăturînd ipoteza simplificatoare că planetele execută mişcarea lor pe orbite circulare. Dacă vom aplica la electron cazul general al orbitelor eliptice, vom obţine oare concluzii diferite de cele de pînă acum? Vom slăbi concordanţa dintre teorie şi experienţă, sau vom obţine o concordanţă mai bună?

Răspunsul la aceste întrebări l-a dat Sommerfeld. Introducerea orbitelor eliptice complică extraordinar structura matematică a teoriei lui Bohr. Calculele devin mai grele, mai încurcate. Însă după efectuarea lor, Sommerfeld a constatat că nivelurile de energie ale atomului concordă pe deplin cu nivelurile calculate de Bohr. Prin urmare, înlăturarea ipotezei simplificatoare a orbitelor circulare nu schimbă de loc concluziile fizice.

Ne vom convinge mai tîrziu că această generalizare a lui Sommerfeld, deși pare neînsemnată, are totuși un rol esențial în știință.

Ce amănunte noi aduc lucrările lui Sommerfeld în imaginea structurii atomului? Știm din teoria lui Bohr, că cercului *I* îi corespunde un anumit nivel de energie, nivelul cel mai coborît. Această concluzie rămîne și acum neschimbată. Să trecem la cercul *II*, la al doilea nivel de energie. După Sommerfeld, electronul poate circula, fie pe o orbită circulară, fie pe una eliptică. Nivelului al doilea nu-i corespunde, ca la Bohr, o singură orbită circulară, ci două: una circulară și alta eliptică. Însă electronul, care circulă pe un cerc sau pe elipsă, *are totuși aceeași energie* și anume energia orbitei *II* din teoria lui Bohr. Iată motivul pentru care descompunerea orbitei lui Bohr în două orbite ale lui Sommerfeld n-ar putea fi evidențiată experimental. Lungimile de undă ale radiațiilor emise depind numai de nivelurile de energie între care oscilează electronul, iar acestea n-au suferit nici o schimbare. Orbita a *III*-a a lui Bohr se va descompune și ea, însă în trei orbite, din care două vor fi eliptice și una circulară, dar tuturor acestor orbite le corespunde același nivel de energie. Aceste afirmații sînt ilustrate în fig. 9. În această figură vedem prima orbită a lui Bohr nemodificată. Celei de a doua orbite îi corespunde o elipsă și un cerc. Protonul se află în focarul elipsei și în același timp în centrul cercului. Axa mare a elipsei este egală cu diametrul cercului. De asemenea, în locul orbitei a *III*-a a lui Bohr vedem două elipse cu axele mari egale și un cerc. Orbita a *IV*-a s-ar descompune și ea în trei elipse și un cerc etc.

Se mai ivește însă o obiecție adusă de sceptici: de ce ne ocupăm de generalizarea făcută de Sommerfeld, dacă ea aduce numai o complicație matematică fără a duce la noi

date experimentale? În cele ce urmează vom găsi un răspuns și la această întrebare.

Teoriei lui Bohr i se pot aduce două obiecții. Prima este de natură experimentală, iar a doua de natură teoretică. Să începem cu obiecția experimentală.

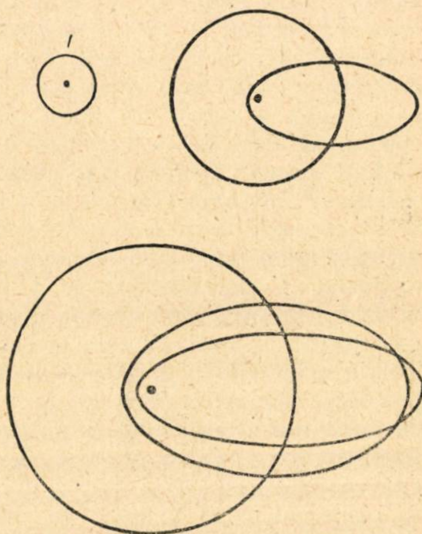


Fig. 9 Orbitele cuantice după Sommerfeld

Finețea măsurătorilor, creșterea preciziei de măsurare a lungimilor de undă (corespunzătoare diferitelor linii ale hidrogenului) ne aduc la cunoștință fapte noi. Astfel, un spectroscop sensibil ne descoperă o structură mai fină a liniilor de hidrogen. Acestea nu sînt formate în general numai dintr-o singură linie ci dintr-o serie de alte linii componente, așezate foarte aproape unele de altele și cu grade diferite de luminozitate. Descoperim astfel structura fină a spectrelor. Pentru a descoperi această structură a liniilor hidrogenului trebuie să folosim spectroscoape care ne arată distinct chiar și acele linii spectrale ale căror lungimi de undă diferă între ele numai cu cîteva zecimi de Ångström. Folosind metode mai puțin sensibile, liniile vecine care există în adevărata structură spectrală se contopesc, dînd o singură linie a hidrogenului. Dacă pe timpul lui Balmer s-ar fi cunoscut metodele actuale de măsurare foarte precisă a lungimilor de undă, este sigur că Balmer n-ar fi fost în stare să descopere formula sa empirică. Metodele grosolane de experimentare au ascuns complexitatea realității și au permis să fie exprimate într-o formulă simplă și clară, dar neprecisă. În același timp acest exemplu ne arată cum

experienţa depăşeşte teoria, punîndu-i o nouă problemă: Cum se poate explica structura fină a liniilor spectrale?

Teoriei lui Bohr i se mai poate aduce încă o obiecţie de natură teoretică. Observăm că ipoteza pe care ne-am bazat în argumentările noastre de pînă acum prezintă un caracter prea simplist. Trebuie să renunţăm la această ipoteză. Electronul se mişcă în jurul protonului pe orbite circulare sau eliptice. Vitezele acestor mişcări sînt foarte mari, cu toate că sînt mai mici decît viteza luminii. În calcule se presupune totuşi că masa electronului este o mărime constantă, care nu se schimbă în timpul rotaţiei. Noi am preluat această ipoteză din mecanica clasică. Cum o putem justifica? Ne amintim că în capitolul III (pag. 73) am făcut cunoştinţă cu o concluzie rezultată din teoria relativităţii: masa unui corp depinde de viteza lui. În mişcarea uniformă a electronului pe o orbită circulară, mărimea vitezei rămînînd constantă, masa corpului rămîne şi ea constantă, cu toate că este mai mare decît masa de repaus. Teoria relativităţii modifică deci — deşi foarte puţin — şi problema mişcării circulare în teoria lui Bohr. În schimb cu mult mai complicată se prezintă această mişcare a electronului pe o orbită eliptică. Viteza electronului care circulă pe o elipsă ca şi viteza unei planete, nu este aceeaşi în orice punct al elipsei. În punctele cele mai apropiate de protonul-soare, *atracţia* şi *viteza* sînt cele mai mari, în schimb în punctele cele mai depărtate ale elipsei, aceste mărimi au valorile cele mai mici. În cazul acesta, dacă ne însuşim punctul de vedere al teoriei relativităţii, *masa* electronului suferă şi ea schimbări în timpul rotaţiei electronului, şi anume: ea este maximă în punctul cel mai apropiat de proton, adică în punctul cel mai apropiat de unul dintre focarele elipsei şi este minimă în punctul cel mai depărtat de acest focar.

Aşadar, dacă vrem să împingem precizia calculelor noastre cu un pas înainte, trebuie să luăm în considerare şi variaţia masei electronului. Sommerfeld a mai efectuat încă o dată calcule analoge cu calculele lui Bohr, eliberîndu-le însă de ipoteza simplificatoare a constanţei masei. Prin aceasta, introducem acum, în problema structurii atomilor, nu numai teoria cuantelor, ci şi teoria relativităţii. Calculele devin fireşte cu mult mai complicate. Obţi-

nem oare pe această cale un rezultat mai valoros din punct de vedere ştiinţific? Rezultatul este surprinzător. Dintr-o dată scăpăm de ambele obiecţii: atît de cea experimentală, cît şi de cea teoretică. Introducerea corecţiei relativiste ne explică structura precisă şi reală a spectrelor. Să consacrăm acestui rezultat încă cîteva cuvinte.

Fazele de dezvoltare ale concepţiilor referitoare la structura atomului de hidrogen sînt următoarele: 1) orbitele circulare ale lui Bohr; 2) orbitele circulare şi eliptice ale lui Sommerfeld; 3) calculul relativist al lui Sommerfeld. Ne amintim că trecerea de la orbitele circulare la cele eliptice n-a determinat niveluri de energie noi, în ciuda înmulţirii orbitelor care apar acum în atom; de exemplu, pentru nivelul *II* avem două orbite — una circulară şi alta eliptică — cărora le corespunde aceeaşi valoare a energiei. Prin introducerea ideii de variaţie a masei electronului, nivelul de energie *II* se descompune în două niveluri de energie diferite, dar apropiate unul de altul. Cînd efectuăm calculul pe baza corecţiei relativiste, atît orbita circulară, cît şi cea eliptică, suferă oarecare modificări, iar rezultatul acestor modificări constă în faptul că cele două niveluri de energie, care înainte se confundau, se îndepărtează acum una de alta, se separă, coexistînd ca două niveluri de energie distincte. La fel se va întîmpla şi cu nivelul *III*. Acestui nivel îi corespundeau înainte trei orbite: două eliptice şi una circulară, aparţinînd toate aceluiaşi nivel de energie. Vom constata şi aici scindarea în trei niveluri de energie foarte apropiate unul de altul. Pe baza aceloraşi consideraţii nivelul cel mai jos, adică nivelul fundamental normal (orbita *I*) nu va suferi nici o descompunere deoarece lui îi corespunde numai o singură orbită circulară. În fig. 10 am reprezentat grafic rezultatul calculelor lui Sommerfeld. La stînga vedem nivelurile de energie deja cunoscute, care sînt identice atît în calculele lui Bohr, cît şi în calculele lui Sommerfeld, dacă nu se ia în considerare variabilitatea masei cu viteza. La dreapta am reprezentat rezultatul calculelor după luarea în considerare a corecţiilor relativiste. Nivelul *II* se descompune în două coniveluri energetice, nivelul *III* în trei coniveluri etc. Fig. 10 nu ne prezintă rapoartele corespunzătoare între niveluri. Aici ne interesează numai tragerea concluziilor calitative. Totuşi, chiar şi din această figură

recunoaştem că descompunerile sînt cu atît mai puţin distincte cu cît nivelul de energie este mai înalt.

Am spus că linia frontală a seriei lui Balmer rezultă din faptul că electronul cade de la nivelul *III* la nivelul *II*.

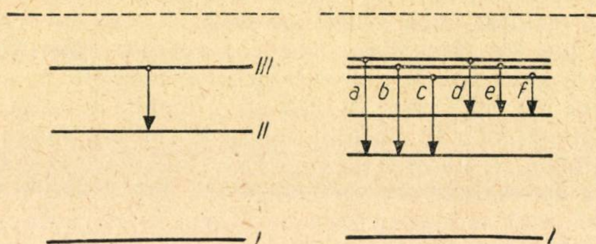


Fig. 10 Descompunerea relativistă a nivelurilor de energie

Această concluzie trebuie să sufere o modificare. Nivelul *III* constă acum din trei coniveluri de energie apropiate unul de altul. Pentru linia frontală a lui Balmer, există deci, nu un singur nivel de energie, aşa cum am crezut pînă acum, ci trei coniveluri de energie de la care poate porni saltul electronului. Pe de altă parte, electronul căzînd la nivelul *II* găseşte şi acolo două ţinte în loc de una, din cauză că există două coniveluri de energie.

La stînga fig. 10 se află numai o săgeată care corespunde liniei frontale din seria lui Balmer. La dreapta vedem în schimb şase săgeţi diferite, deci şase linii foarte apropiate una de alta arătînd structura amănunţită a liniei lui Balmer. Aceste săgeţi sînt însemnate cu literele *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*. Cea mai mică lungime de undă corespunde saltului celui mai mare, adică liniei *a*, iar cea mai mare lungime de undă saltului *f* (cel mai mic).

În locul unei linii obţinem deci un sistem de linii prezentate în fig. 11. Aceste linii corespunzătoare unor anumite salturi sînt însemnate aici cu aceleaşi litere ca şi săgeţile corespunzătoare din fig. 10. Observăm şase linii în două grupe, din care fiecare cuprinde cîte trei linii. Un spectroscop sensibil va descompune deci linia frontală a lui Balmer în două linii, care corespund celor două grupe: grupa *a*, *b*, *c* şi grupa *d*, *e*, *f*. Vom obţine deci o linie dublă.

Spectroscopul sensibil va descompune deci în două linia inițial simplă, însă folosirea unui analizator și mai fin ar putea permite descompunerea fiecăreia din aceste două linii în componentele ei mai fine. Teoria lui Sommerfeld explică nu numai calitativ problema structurii fine a spectrelor. Între teorie și experiență mai apare și concordanța cantitativă.

Cînd comparăm teoria cu datele experienței apare acum o altă dificultate: toate liniile observate și rezultate din structura fină a spectrelor, sînt explicate în mod excelent prin teoria lui Sommerfeld. Dar această teorie prevede totuși și existența unor anumite linii care n-au fost constatate experimental. Bogăția prevederilor teoriei lui Sommerfeld este prea mare, posibilitățile arătate de ea sînt prea numeroase. Realitatea alege însă numai unele din aceste posibilități. Apare deci în fața teoriei o sarcină nouă. Care este regula alegerii liniilor? În ce fel se pot recunoaște liniile permise, de cele interzise? La această întrebare răspunsul a fost găsit de savantul polonez Rubinowicz. Regula *alegerii* dată de el poate fi asemănată cu o sită, care deosebește liniile permise de cele interzise. Folosirea acestei site ne va arăta, de exemplu, că liniile seriei lui Lyman vor rămîne simple, chiar dacă am folosi cel mai puternic spectroscop. Aplicînd regula alegerii la linia frontală a seriei lui Balmer, am constata, că în loc de șase linii, vom obține numai trei și anume *f*, *d*, *b*. Regula alegerii nu permite trecerile corespunzătoare săgeților *a*, *c*, *e*.

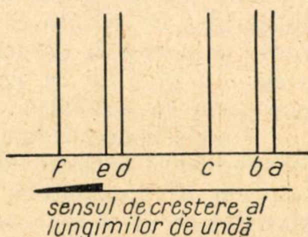


Fig. 11 Structura fină a liniei frontale a seriei lui Balmer (fără luarea în considerare a regulei selecției)

În legătură cu structura fină mai rămîne încă o problemă. Care este gradul de intensitate al fiecărei linii în parte? Cu alte cuvinte: Care salturi se efectuează mai frecvent și care se produc mai rar? Am demonstrat înainte că metodele de gîndire care duc la un răspuns satisfăcător față de acest gen de întrebări, trebuie să prezinte caracter statistic. De la descrierea lumii microfizice la lumea macrofizică duce un drum de-a lungul căruia folosim metode statistice de gîndire.

Am prezentat dezvoltarea concepţiilor teoretice numai într-un sector îngust şi ne-am convins totuşi că structura iniţială a teoriei a pierdut caracterul ei de simplitate. Experienţele din ce în ce mai recente, ne dezvăluie o lume de fenomene din ce în ce mai complexă. Imaginea realităţii construită de ştiinţă se complică din ce în ce mai mult. Zidul chinezesc de natură matematică, cu care fizica opreşte accesul profanilor în această materie, devine din ce în ce mai greu de străbătut.

Oare şi aspectul lumii devine din ce în ce mai complex? Răspunsul la această întrebare nu este atît de simplu. Înţelegem că elementele, din care este alcătuită materia, sînt din ce în ce mai simple. În locul tuturor elementelor avem acum în ştiinţă cîteva tipuri de cărămizi, (puţine la număr) din care este clădită lumea. Ştim că cele mai importante dintre aceste cărămizi sînt electronii, protonii şi neutronii.

Materialul de construcţie este într-adevăr din ce în ce mai simplu, dar construirea lumii, cu aceste elemente de bază, devine din ce în ce mai complicată. Trecerea de la modelul atomului de hidrogen al lui Bohr la modelul relativist al lui Sommerfeld, reprezintă dezvoltarea teoriei pe baza aceloraşi idei, dar complicatul eşafodaj matematic răpeşte teoriei caracterul său iniţial de simplitate. Exemplul dat aici nu este un caz izolat. Concepţia că teoriile ştiinţifice devin din ce în ce mai simple, că realitatea poate fi încadrată în legi simple şi limpezi, este, nu numai superficială, dar şi fundamental falsă.

La făurirea unei imagini a lumii înconjurătoare colaborează atît teoria cît şi experienţa. Între teorie şi experienţă există nu numai colaborare, ci şi întrecere pentru cunoaşterea adevărului ştiinţific. Aparatura din ce în ce mai ingenioasă utilizată pentru executarea experienţelor ne dezvăluie neîncetat domenii de fapte noi, descoperă devieri de la o lege abia stabilită, tocmai atunci cînd credem că am dat peste o formulă simplă. Nu va trece mult timp şi vom ajunge să obţinem măsurători şi mai precise. Acolo unde deocamdată constatăm numai slabe devieri de la o lege, vom descoperi în curînd o lege nouă, care va pătrunde mai adînc în tainele firii, pentru ca apoi s-o doborîm şi pe aceasta cu măsurători şi mai subtile şi aşa mai departe.

Teoria caută, nu numai să se țină în pas cu experiența, ci încearcă chiar s-o întreacă, să prevadă fapte noi. Dezvoltarea teoriei constă atît în descătușarea ei de ipotezele simplificatoare cît și mai ales în cuprinderea unui domeniu din ce în ce mai vast de fapte. În general, structura teoriei se complică din ce în ce mai mult.

Dar și aici se întîmplă lucruri neprevăzute. Răsar idei noi și mari, datorită cărora putem privi fenomenele din alte perspective. Complexe întregi de probleme trec pe un alt plan, dispar vechile teorii complicate și în același timp apar trăsăturile unei construcții noi. Faza următoare a dezvoltării va complica iarăși acest eșafodaj teoretic pînă în clipa în care alte idei mai mari vor deveni un instrument nou de gîndire.

Ciocnirile electronilor-proiectile cu atomii de hidrogen

Să revenim la imaginea cea mai simplă a atomului de hidrogen, așa cum ne-o prezintă teoria lui Bohr.

Presupunem deci existența numai a orbitelor circulare care corespund diferitelor niveluri de energie ale atomului. Considerăm atomul de hidrogen *în stare normală*, adică neexcitat, ceea ce înseamnă că electronul său planetar circulă în jurul protonului pe orbita *I*, cea mai apropiată de nucleu. Trecerea curentului, adică a unui torent de electroni, prin tubul de descărcare în care se află o atmosferă de hidrogen rarefiat, ridică electronul planetar la un nivel superior, adică excită atomul, pregătindu-l pentru o viitoare emisie de radiații. Să ne ocupăm acum tocmai de această latură a fenomenului: cum sînt excitați atomii hidrogenului? O serie de experiențe frumoase, executate în anii 1913—1914 de Franck și Hertz, au urmărit cunoașterea acestui mecanism al excitării.

Să ne închipuim un fir subțire metalic incandescent, care se află în atmosfera de hidrogen rarefiat. Acest fir emite electroni în toate direcțiile. Prin acțiunea unui cîmp electric dirijat, putem imprima acestor electroni o anumită viteză. După cum o piatră ce cade într-un cîmp gravitațional își mărește viteza, la fel un electron aflat într-un cîmp electric își mărește energia sa cinetică. Bazîndu-ne pe acest principiu

putem să realizăm deci un fascicul de electroni, zburînd într-un anumit sens şi cu o anumită viteză stabilită.

Se cunosc astăzi destule metode prin care se pot imprima electronilor viteze uriaşe, viteze apropiate de viteza luminii, făcînd să acţioneze asupra electronilor nişte cîmpuri electrice foarte puternice. Ce se petrece atunci cînd un fascicul de electroni cu o anumită viteză ca deasupra atomilor de hidrogen rarefiat?

Să presupunem că vitezele electronilor emişi de firul incandescent sînt foarte mici. Să ne închipuim că aceşti electroni sînt un roi de proiectile, care bombardează atomii hidrogenului. În cazul cînd viteza şi prin urmare energia acestor electroni-proiectile este mică, ei nu vor modifica starea normală a atomilor de hidrogen. Vor sări înapoi ca o minge lovită de un perete, păstrînd energia lor de mişcare neschimbată.

Să presupunem acum că mărim treptat viteza electronilor-proiectile aşa fel încît aceşti electroni să capete energie cinetică suficient de mare. În cazul acesta vor avea loc lovituri eficace în plin, iar unii dintre electronii-proiectile vor schimba starea atomilor de hidrogen. Iată o lovitură în plin care ridică electronul planetar al atomului de hidrogen de pe orbita *I* pe orbita a *II*-a. În ce condiţii sînt posibile aceste lovituri în plin? Atomul de hidrogen în care electronul planetar circulă pe orbita a *II*-a este mai bogat în energie decît atomul în care electronul planetar circulă pe orbita *I*. Electronul proiectil a pierdut deci energia sa, dar această energie a fost cîştigată de atomul de hidrogen prin saltul electronului planetar de pe orbita *I* pe orbita a *II*-a.

Această transmitere de energie de la electronul-proiectil la atomul de hidrogen este posibilă numai atunci cînd acest electron-proiectil posedă o cantitate de energie suficientă pentru ridicarea electronului planetar la un nivel de energie superior. Spunem că excitarea atomului de hidrogen are loc numai atunci cînd energia electronului-proiectil trece peste o anumită valoare limitată, numită *energie de rezonanţă*, care este *limita inferioară* de excitabilitate a atomului.

Aşadar, dacă vom mări treptat viteza electronilor-proiectile pînă ce se ajunge la energia de rezonanţă, atomul de hidrogen va emite un *semnal* care arată că această energie

de rezonanţă a fost atinsă. In ce constă acest semnal? Electronul planetar, care în urma ciocnirii a fost ridicat la nivelul orbitei a *II*-a, cade înapoi de la sine pe orbita *I*. Această cădere a electronului planetar este însoţită de emiterea unei raze invizibile care este tocmai linia frontală a seriei lui Lyman (ultraviolet). Aşadar, apariţia în spectrul hidrogenului numai a liniei frontale din seria lui Lyman, constituie acel semnal care dă de ştire că energia de rezonanţă a electronilor-proiectile a fost atinsă.

Mărind şi mai mult viteza electronilor-proiectile, starea atomului de hidrogen continuă să se schimbe. Astfel, atunci cînd energia electronilor-proiectile devine şi mai mare, ea poate ridica electronul planetar pe niveluri superioare şi semnalul va fi în acest caz apariţia rînd pe rînd a liniilor următoare din spectrul hidrogenului.

Să presupunem că roiul de electroni-proiectile posedă tocmai energia aceea de rezonanţă, a cărei valoare o putem stabili atît pe cale experimentală, cît şi prin calcul teoretic. Energia electronului-proiectil se transformă atunci total în energia *acelui foton* radiat, care corespunde liniei frontale din seria lui Lyman.

Avem deci următorul raport:

energia de rezonanţă a electronului-proiectil = energia fotonului din linia frontală a seriei lui Lyman

Ambele părţi ale acestei egalităţi le calculăm pe baza datelor experienţei. Cunoaştem atît energia de rezonanţă a electronului-proiectil cît şi lungimea de undă a liniei frontale din seria lui Lyman. Constatăm în felul acesta că ecuaţia scrisă mai sus este într-adevăr rezolvată. Rezultă de aici că imaginea prezentată de noi a excitării atomului de hidrogen este în concordanţă cu experienţa.

Cînd electronul-proiectil posedă exact energia de rezonanţă, atunci apare prima linie din seria Lyman. Ce viteză trebuie să aibă proiectilul, pentru ca să apară toate liniile tuturor seriilor hidrogenului? Şocul electronului-proiectil trebuie să fie atît de puternic încît să fie capabil să smulgă electronul planetar în afara acţiunii protonului, adică să-l ridice peste nivelul de energie de la periferie. Cînd însă din atomul hidrogenului smulgem un electron, rămîne numai protonul, adică un ion de hidrogen. (Ştim că atomul de

hidrogen constă numai dintr-un proton și un electron. Ceea ce rămîne deci din atomul de hidrogen după smulgerea electronului, poartă numele de atom ionizat sau ion. Protonul este deci un ion de hidrogen.) Electronii-proiectile, care au fost capabili să ridice electronii planetari ai atomului exact pînă la nivelul de energie de la periferie, trebuie să aibă, firește, o energie mult mai mare decît cea de rezonanță. O astfel de energie a electronului-proiectil corespunzătoare nivelului periferic al atomului se numește *energie de ionizare* și reprezintă *limita superioară de excitabilitate* a atomului. Electronul-proiectil, care posedă o energie cel puțin egală cu energia de ionizare, smulge electronul planetar din sfera de acțiune a protonului, ionizînd atomul de hidrogen, adică transformînd acest atom în ion.

În peregrinările sale protonul lipsit de electron, adică ionul de hidrogen, va întîlni un alt electron rătăcit, îl va atrage în sfera sa de acțiune și îl va sili să circule pe una dintre orbitele sale permise. Acest fenomen este de asemenea însoțit de emiterea unei radiații. Cînd observăm în spectrul hidrogenului toate liniile spectrului, deducem că viteza de ionizare a electronului-proiectil a fost deja atinsă sau depășită. Electronul-proiectil cu energia sa de ionizare, smulge din atom electronul planetar care circulă pe orbita *I* și pierde toată energia sa tocmai pentru efectuarea acestui lucru. Această energie este emisă sub forma unui foton, dacă electronul planetar în loc să fie expulzat din atom, a fost ridicat numai pînă la nivelul periferic al acestuia, căci el revine de la sine pe orbita cea mai joasă. Putem deci să scriem iarăși o egalitate analogă cu cea precedentă:

energia de ionizare a electronului-proiectil = energia fotonului din linia terminală a seriei lui Lyman

Constatăm și în cazul acesta o concordanță perfectă între teorie și experiență.

În capitolul II (pag. 54) am făcut cunoștință cu fenomenul fotoelectric: energia *fotonului* care lovește atomul se transformă în energia *electronului* planetar expulzat din atom. Aici întîlnim un fenomen oarecum inversat: energia de cădere a electronului spre nucleul atomului se transformă în energia unui foton care este radiat în afară.

Atomul de heliu

În paginile precedente am arătat legile care guvernează atomul celui mai ușor dintre toate elementele cunoscute, atomul hidrogenului. Hidrogenul este însă numai unul dintre numeroasele elemente care alcătuiesc lumea înconjurătoare. Cum sînt alcătuiți atomii celorlalte elemente din „cărămizile" elementare cunoscute de noi? Oare și pentru ele putem prezenta un model atomic tot atît de precis ca și pentru hidrogen? Putem oare să prevedem și să calculăm lungimile de undă ale liniilor lor spectrale?

Aceste probleme întrec posibilitățile teoriei simple a lui Bohr. Cunoștințele noastre despre celelalte elemente sînt incomparabil mai puține și mai generale decît cele pe care le avem despre atomul de hidrogen. Abia dezvoltarea ulterioară a fizicii ne permite să înaintăm mai mult și în această direcție.

Mărimea caracteristică pentru atomii diferitelor elemente este așa-numita greutate atomică. Greutatea atomică a hidrogenului este de 1,008, a aurului 197,2. Greutatea atomică exprimă greutatea relativă a atomilor. Deci un atom de aur are o greutate de aproximativ de 197 de ori mai mare decît un atom de hidrogen. Să ne închipuim toate elementele înșirate în ordinea greutăților atomice crescătoare. Pe primul loc vom avea hidrogenul, pe al doilea heliul, pe al treilea litiul, pe locul al 92-lea vom avea uraniul.

Cum se prezintă structura atomilor acestor elemente, după teoria lui Bohr? Modul în care vom prezenta răspunsul la această întrebare va avea caracterul unei deducții. Vom prezenta numai trăsăturile cele mai generale ale teoriei ca să arătăm apoi concordanța între concluziile ei și rezultatele principale ale experienței.

În evoluția științei, mereu se încrucișează și se împletesc reciproc acești doi factori: factorul experimental și factorul teoretic. Imaginea prezentată de noi nu este numai opera imaginației creatoare a savantului, ea se dezvoltă pe terenul datelor experienței. În același timp însă, gradul de concordanță dintre rezultatele teoretice și datele experimentale ne spune în ce măsură imaginea creată de savant corespunde realității.

Din clipa în care am aranjat elementele într-un şir, în ordinea crescătoare a greutăţilor atomice, putem da fiecăruia *un număr corespunzător de ordine*, numit *numărul atomic* al elementului respectiv. Pentru hidrogen el va fi 1, pentru heliu 2, pentru litiu 3, pentru uraniu 92.

Premisele teoriei asupra structurii atomilor în general sună în felul următor: Atomii tuturor elementelor sînt alcătuiţi după modelul sistemului planetar. Aşadar atomul fiecărui element este alcătuit dintr-un *nucleu-soare* greu, în jurul căruia circulă electronii-planete. În cazul cel mai simplu, al hidrogenului, nucleul atomului este format dintr-un proton. În alte elemente nucleul are o structură complicată. Nucleul hidrogenului posedă numai o sarcină electrică elementară (pozitivă), nucleul heliului posedă două sarcini elementare, nucleul litiului trei, nucleul (greu) al uraniului are 92 de sarcini elementare. (Numim *sarcină elementară* sarcina electrică (pozitivă) a unui proton sau sarcina electrică (negativă) a unui electron.)

De aici concluzia:

numărul de ordine al atomului ne arată în acelaşi timp şi valoarea sarcinii nucleului.

Fireşte, această sarcină este pozitivă. Atomul unui element este neutru din punct de vedere electric, deci trebuie să admitem că în jurul nucleului pozitiv al atomului circulă un număr de electroni care neutralizează sarcina nucleului. În atomul de hidrogen circulă în jurul nucleului un singur electron planetar, la atomul de heliu doi, la cel de litiu trei, iar atomul de uraniu este un sistem planetar foarte complicat alcătuit dintr-un nucleu şi 92 electroni planetari.

Să ne ocupăm acum de elementul cu numărul de ordine 2, numit *heliu*. Greutatea atomică a heliului este de aproximativ 4, ceea ce înseamnă că atomul de heliu este aproximativ de 4 ori mai greu decît atomul de hidrogen. Sarcina nucleului însă este egală cu două sarcini elementare pozitive. Aici întîlnim o anumită dificultate. Greutatea atomică a heliului ar fi în cazul acesta egală cu 2. Atomul de heliu n-ar fi de patru ori, ci numai de două ori mai greu decît atomul de hidrogen. (Masele electronilor fiind foarte mici nu se iau în considerare). Totuşi, putem învinge uşor această dificultate, dacă ne amintim de existenţa neutronilor — aceste particule electrice neutre, a căror masă este aproape egală cu masa

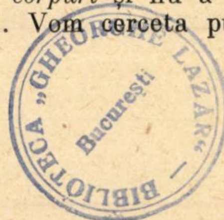
protonului. Dacă admitem deci că nucleul heliului se compune din doi protoni şi doi neutroni, în concordanţă cu datele experienţei, sarcina lui va fi egală cu două sarcini elementare (numărul de ordine este doi), iar masa lui va fi cam de patru ori mai mare decît masa protonului (greutatea atomică este egală cu patru). Astfel ajungem la concluzia că: *nucleul de heliu se compune din doi protoni şi doi neutroni.*

În jurul nucleului de heliu circulă doi electroni. Cum ne imaginăm circulaţia acestor două planete în jurul nucleului? Teoria lui Bohr n-a putut explica multe fenomene legate de acest element. La înţelegerea lor ne duce mecanica cea nouă, cuantică, dezvoltată cu treizeci de ani în urmă. Să ne închipuim deci că numai doi electroni planetari formează în jurul nucleului de heliu, un fel de inel închis, pe care-l numim *inelul K*. Renunţăm la toate celelalte imagini, care privesc structura inelului *K* şi mişcările acestor doi electroni în jurul nucleului.

Heliul este un element monoatomic. Noţiunile de moleculă şi de atom, în cazul heliului se confundă, spre deosebire de hidrogen, ale cărui molecule sînt formate din doi atomi. Să ne închipuim că printr-un tub de descărcare în care se află heliu rarefiat, trece un curent electric. Un torent de proiectile electronice loveşte atomii de heliu. Dacă energia acestor electroni-proiectile este destul de mare, atunci loviturile în plin vor fi în stare să smulgă unul din cei doi electroni, care circulă în jurul nucleului şi să-l arunce afară, dincolo de sfera de acţiune a nucleului. Obţinem astfel un atom de heliu lipsit de un electron, adică *un atom de heliu ionizat* (*un semiion de heliu*). Creşterea în continuare a energiei electronilor-proiectile, va putea ridica electronul care a mai rămas în atom de pe orbita lui normală pe o orbită mai depărtată de nucleu. Căderea lui înapoi va provoca emiterea unei radiaţii şi în spectru vom observa liniile heliului ionizat. Problema liniilor spectrale ale heliului ionizat, este comparativ mai simplă decît problema liniilor heliului normal (neutru, neionizat).

Să cercetăm mai de aproape modelul *semiionului de heliu*. El este foarte asemănător cu modelul atomului de hidrogen. Avem şi aici problema unei singure planete care circulă în jurul soarelui, deci problema *a două corpuri* şi nu a trei corpuri, ca în cazul heliului normal. Vom cerceta puţin

8



problema ionului de heliu, trecînd repede în revistă aspectele pe care le-am mai tratat în legătură cu atomul de hidrogen. Vom constata atît analogii care merg foarte departe, cît și anumite diferențe caracteristice.

1) *Teoria lui Bohr*. Ca și la atomul de hidrogen, vom avea și în cazul heliului ionizat, pe baza premiselor teoriei lui Bohr, anumite orbite cuantice circulare, pe care electronul circulînd, nu emite nici o radiație. Sînt așa-numitele *orbite staționare*. Dar și aici iese în relief o anumită deosebire. Efectuînd calculele corespunzătoare vom constata ca și Bohr, că *razele* acestor orbite sînt de două ori mai mici decît în cazul atomului de hidrogen. Așadar, sarcina de două ori mai mare a nucleului de heliu micșorează orbitele cuantice ale atomului.

În consecință *nivelurile de energie* corespunzătoare diferitelor orbite suferă de asemenea modificări. Astfel orbitele *I*, *II*, *III* etc. au un nivel de energie de patru ori mai înalt decît nivelurile de energie corespunzătoare ale atomului de hidrogen. În timpul salturilor electronului planetar de pe orbitele superioare pe cele inferioare, apare și aici emisia radiațiilor, iar energia fotonului emis este egală cu diferența dintre energiile corespunzătoare nivelurilor respective. Nivelurile de energie reprezentînd însă acum o energie de patru ori mai mare, energia fotonului emis va fi tot de atîtea ori mai mare, iar lungimea de undă respectivă va fi de patru ori mai mică decît lungimea de undă a liniei corespunzătoare din spectrul hidrogenului. Să scriem și acum, așa cum am procedat și cînd a fost vorba de hidrogen (pag. 79), expresiile pentru lungimea de undă corespunzătoare liniilor de la sfîrșitul seriilor spectrale ale *heliului ionizat:*

$$\textit{Imaginea de undă ptr. capătul primei serii} = \frac{1 \times 1}{4 \times \textit{constanta lui Rydberg}};$$

$$\text{„ „ „ „ „ } \textit{seriei a doua} = \frac{2 \times 2}{4 \times \textit{constanta lui Rydberg}};$$

$$\text{„ „ „ „ „ } \textit{seriei a treia} = \frac{3 \times 3}{4 \times \textit{constanta lui Rydberg}};$$

$$\text{„ „ „ „ „ } \textit{seriei a patra} = \frac{4 \times 4}{4 \times \textit{constanta lui Rydberg}}.$$

Aceste expresii se deosebesc de formulele corespunzătoare ale seriilor hidrogenului numai prin faptul că la

numitor apare şi factorul 4. Lungimile de undă ale liniilor terminale sînt deci de patru ori mai scurte decît lungimile de undă corespunzătoare ale seriilor hidrogenului prin urmare ele sînt deplasate foarte mult spre violet. Să ne îndreptăm atenţia mai mult asupra seriei a patra. Raportul care exprimă lungimea de undă a capătului ei se poate transforma şi scrie sub forma:

$$\textit{lungimea de undă la capătul seriei a patra} = \frac{2 \times 2}{\textit{constanta lui Rydberg}}$$

O privire asupra formulei date la pag. 77 pentru lungimea de undă a sfîrşitului seriei lui Balmer ne-ar convinge imediat că sfîrşitul acestei serii *coincide exact cu sfîrşitul seriei a patra a heliului ionizat.* Formulele generale ale celor două serii ne-ar arăta că această coincidenţă nu se referă numai la capetele acestor două serii: toate liniile seriei lui Balmer (spectrul hidrogenului) coincid cu liniile corespunzătoare din a *patra* serie spectrală a heliului ionizat.

2) *Mişcarea de revoluţie a nucleului şi a electronului în jurul centrului de greutate comun.* Ca şi în cazul hidrogenului trebuie şi de data aceasta (în cazul heliului semiionizat) să ne eliberăm de ipotezele simplificatoare.

Considerăm deci şi de data aceasta că atît mişcarea electronului cît şi a nucleului de heliu se fac în jurul unui centru de greutate comun. Vom obţine în felul acesta valoarea mai precisă a constantei lui Rydberg pentru heliul ionizat:

$$\textit{valoarea mai precisă a constantei lui Rydberg} = \frac{\textit{valoarea aproximativă a constantei lui Rydberg};}{1 + \frac{1}{4 \times 1\,836}}.$$

Dacă vom compara acest raport cu raportul asemănător pe care l-am întîlnit în cazul hidrogenului, vom constata că la numitor în loc de $1 + \frac{1}{1\,836}$ apare $1 + \frac{1}{4 \times 1\,836}$.

Valoarea mai precisă a constantei lui Rydberg în cazul spectrului dat de heliul ionizat, este deci puţin diferită de valoarea mai precisă a aceleiaşi constante, în cazul spectrului dat de hidrogen. Se înţelege că aşa trebuie să fie. Doar nu degeaba nucleul atomului de heliu este de patru ori mai greu decît nucleul atomului de hidrogen! După cum se vede, eroarea pe care o facem cînd admitem imobili-

tatea nucleului soare de heliu semiionizat, este mai mică decît cea constatată la hidrogen, de aceea și corecțiunea pe care trebuie să o facem va fi mai mică. În consecință, capătul seriei a patra din spectrul heliului ionizat nu va mai coincide cu capătul seriei lui Balmer în spectrul hidrogenului, și o dată cu aceasta, nici celelalte linii corespunzătoare ale celor două serii nu vor mai coincide, ci vor fi puțin deplasate unele față de altele.

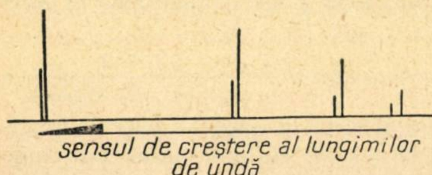


Fig. 12 Seriile spectrale corespunzătoare heliului ionizat și hidrogenului

Concluzia aceasta prevăzută de teorie, este pe deplin confirmată de experiență. Dacă într-un tub se află un amestec rarefiat de heliu și hidrogen și trecem prin acest amestec un curent electric, deci un torent de electroni cu viteză destul de mare, vom observa în același timp ambele serii și anume: liniile din seria lui Balmer dată de hidrogen, și liniile din seria a patra a heliului ionizat, fiind puțin deplasate unele față de altele (fig. 12). Teoria permite să prevedem chiar și valoarea acestei deplasări, iar rezultatele experimentale sînt în concordanță perfectă cu concluziile teoretice.

Admițînd deci că sistemul nostru solar microfizic se rotește în jurul unui centru de greutate comun, facem încă un pas înainte pe drumul cunoașterii legilor care domnesc în interiorul atomului. Ipoteza simplificatoare a unui nucleu imobil nu ne-ar fi putut explica deplasarea liniilor spectrale ale heliului ionizat în raport cu liniile spectrale ale hidrogenului.

3) *Corecția relativistă.* Să ne eliberăm și de alte ipoteze simplificatoare. În atomul de heliu ionizat, electronul poate circula nu numai pe un cerc, ci și pe o elipsă. Nivelurilor de energie nu suferă modificări. Nivelului *I* îi corespunde o singură orbită circulară, nivelului *II* îi corespunde o orbită eliptică și una circulară, nivelului *III*, trei orbite și anume două eliptice și una circulară etc.

Considerarea variației masei în funcție de viteză, adică aplicarea corecției relativiste, evidențiază pe deplin va-

loarea descoperirii lui Sommerfeld. Nivelurile de energie care corespund orbitelor *II*, *III* etc., se descompun și în cazul ionului de heliu, iar un spectroscop puternic va scoate la iveală întreaga structură complicată și subtilă a liniilor din spectrul heliului ionizat. Mai mult, într-o anumită privință liniile heliului ionizat se pretează cu mult mai bine cercetărilor experimentale asupra structurilor fine decît liniile hidrogenului. Faptul că previziunile teoriei lui *Sommerfeld* au fost confirmate de frumoasele experiențe ale lui *Paschen* este un exemplu tipic de colaborare a teoriei cu experiența. Între acești doi savanți a existat un contact permanent în cursul muncii lor științifice, care a ajutat atît munca teoretică a unuia cît și munca experimentală a celuilalt.

4) *Ciocnirile cu electronii.* Și aici putem să introducem noțiunile de energie de rezonanță și de energie de ionizare a electronului-proiectil. Să admitem că asupra unui atom de heliu ionizat — la care electronul planetar rămas circulă pe orbita sa normală ,(*I*), cade un torent de electroni-proiectile, animate de o anumită viteză. Dacă energia lor este suficientă pentru ridicarea electronului planetar la orbita a doua, știm că ei posedă energia de rezonanță. Indiciul acestei energii este apariția liniei frontale din prima serie a spectrului. Dacă loviturile în plin expulzează electronul planetar din atom, atunci în spectrul heliului ionizat apar toate liniile. În acest caz rămîne numai nucleul singur, fără nici un electron. Cu alte cuvinte atomul de heliu în acest caz este *dublu ionizat*. Ce energie trebuie să aibă un electron-proiectil, pentru ca lovitura sa în plin să fie în stare să expulzeze electronul planetar al ionului de heliu? *Energia de ionizare* a electronului-proiectil ar trebuie să fie în acest caz de patru ori mai mare decît în cazul hidrogenului. Reamintim că nivelurile de energie ale heliului ionizat sînt de patru ori mai înalte decît nivelurile de energie corespunzătoare ale hidrogenului.

Aici sîntem nevoiți să mai adăugăm cîteva cuvinte pentru completare. Putem vorbi despre energia de rezonanță și de ionizare a heliului abia după ce heliul este pregătit în mod corespunzător, adică *după ce* electronul-proiectil a smuls și a expulzat din atom pe unul din cei doi electroni ai atomului. Ce energie trebuie să aibă un electron-proiectil pentru a smulge numai primul electron din atomul de heliu,

adică pentru ca să poată *ioniza numai parțial acest atom*? Teoria lui Bohr nu ne dă un răspuns precis la această întrebare. Pe baza acestei teorii, nu putem să construim un model structural al atomului de heliu neionizat, adică un model de la care să putem obține un răspuns în concordanță cu experiența. Răspunsul la întrebarea de mai sus ni-l dă abia noua mecanică cuantică.

Despre structura atomică a celorlalte elemente

Cel mai ușor element care urmează după hidrogen și heliu este *litiul*. Ar trebui și în acest caz să vorbim despre structura atomului de litiu, apoi să trecem la elementul următor și așa mai departe. Această sarcină de caracterizare pe scurt a elementelor următoare o vom simplifica foarte mult, luîndu-le pe toate din așa-numitul *tabel al lui Mendeleev*, care se află la sfîrșitul acestei cărți. De acest tabel, care a fost alcătuit încă în secolul trecut, se ocupau la început aproape numai chimiștii. Fizicienii nu se interesau de el aproape de loc. Abia fizica de astăzi a aruncat pe neașteptate o lumină nouă asupra structurii lui. Fizica modernă ne învață să înțelegem regulile și să ne explicăm enigmele legate de construcția lui.

Să privim acest tabel cu atenție. În fiecare căsuță vedem două numere și niște litere.

De exemplu în rîndul întîi avem: 1 H 1,0080; 2 He 4,003. Ce reprezintă primul din aceste numere? Este *numărul de ordine* al elementului. Vedem că aceste numere formează un șir natural, începînd cu 1 și terminînd cu numărul 102. Lîngă numărul de ordine al elementului se află litere, care simbolizează respectivul element. H, este simbolul hidrogenului, He, al heliului, Li, al litiului etc. În tabela de la sfîrșitul cărții găsim lista elementelor, simbolurile care le corespund și denumirile, astfel încît pe baza acestei tabele vom putea să introducem în tabela de simboluri denumirile corespunzătoare ale elementelor.

Ce reprezintă al doilea număr? El exprimă greutatea atomică a diferitelor elemente. S-a luat ca bază oxigenul (numărul de ordine 8) cu masa 16,000. Hidrogenul cu greutatea atomică 1,0080 are atomii aproximativ de patru ori mai ușori decît atomul heliului. Pe baza acestui

tabel putem în felul acesta să exprimăm raportul dintre greutăţile atomice a două elemente luate la întîmplare.

Să ne îndreptăm atenţia asupra acestor greutăţi atomice. Ele formează un şir de numere crescătoare. În felul acesta descoperim prima regulă a acestui tabel: Elementele sînt înşirate în ordinea greutăţilor atomice crescătoare. Dar să privim mai de aproape. Vom constata că în anumite locuri s-a păcătuit împotriva principiului de a înşira elementele în ordinea greutăţii atomice crescătoare. De exemplu:27 Co (cobalt) 58,94 se află înainte de 28 Ni (nichel) 58,69. La aranjarea întregului tabel au fost comise numai patru asemenea abateri. În afară de exemplul citat, vedem că 19 K (potasiul) 39,096 este pus după 18 Ar (argon) 39,94, 52 Te (telurul) 127,61 este pus înainte de 53 I (iod) 126,92 şi 90 Th (toriul) 232, 12 înainte de 91 Pa (protactiniu) 231.

Cînd Mendeleev a alcătuit acest tabel, situaţia nu era atît de simplă. Comparînd tabelul sistemului periodic din această carte, chiar şi cu tabelul de acum 20 de ani, constatăm între aceste tabele diferenţe destul de mari. Atunci *ultimul element* era 92 U (uraniul) 238,1 şi în tabelă mai existau încă patru locuri goale. Locurile goale erau cu mult mai numeroase pe vremea lui Mendeleev. Cum a alcătuit atunci Mendeleev acest tabel? De ce a lăsat în el locuri goale?

Iată cum răspundem la această întrebare. Mendeleev, dorind să introducă o anumită ordine în elementele chimice, a observat că, dacă le aranjăm în ordinea greutăţii lor atomice crescătoare, după un anumit număr de locuri, se repetă elementele cu proprietăţi fizice şi chimice asemănătoare. El a hotărît atunci să alcătuiască tabelul deplasîndu-se de la stînga la dreapta, în ordinea crescătoare a greutăţilor în aşa fel încît, atunci cînd într-un şir orizontal apare un element care în ce priveşte proprietăţile fizico-chimice seamănă cu cel de la început, să constituie un nou şir orizontal dedesubtul primului, care să înceapă cu acest element. În felul acesta se formau *coloane verticale*, care cuprindeau elemente cu însuşiri asemănătoare. Tabelul îndeplinea deci două condiţii principale: Prima condiţie erau *şirurile orizontale* (perioade), conţinînd elementele aşezate în ordinea greutăţilor atomice crescătoare; a doua condiţie erau *coloanele verticale* (grupe) conţinînd elementele cu proprietăţi fizico-chimice asemănătoare. Pentru a satisface condiţia a

doua, Mendeleev era nevoit să lase în tabelul său anumite locuri goale. De exemplu, *germaniul* (Ge) cu numărul de ordine 32, era pe atunci necunoscut, dar elementul următor în ordinea greutăţii atomice, *arsenul* (As), fiind din punct de vedere chimic asemănător cu fosforul (P) şi nu cu siliciul (Si) Mendeleev l-a pus în coloana a V-a, iar în coloana a IV-a a lăsat un loc liber. Mai mult, el a fost în stare să prevadă chiar anumite proprietăţi fizico-chimice ale acestui element necunoscut. Peste mai mulţi ani a fost descoperit *germaniul* (Ge) şi s-a dovedit astfel că *tocmai acesta* era acel predecesor al arsenului care lipsea din tablou, iar caracteristicile lui concordau foarte bine cu cele prevăzute de Mendeleev.

În felul acesta, Mendeleev a obţinut împărţirea elementelor în *grupe* însemnate în tabelul nostru cu cifre romane. Să ne uităm la tabel.

În grupa întîi (I) avem: hidrogenul, litiul, sodiul etc. În grupa a doua (II) găsim: beriliul, magneziul, calciul etc. În sfîrşit, în grupa zero (0), se află aşa-numitele gaze nobile: heliul, neonul, argonul etc. (Acest nume patetic de „gaze nobile" vine de la faptul că aceste gaze nu se combină, adică nu dau compuşi cu alte elemente). Elementele care aparţin la aceeaşi grupă prezintă proprietăţi chimice şi multe proprietăţi fizice asemănătoare. Spectrele elementelor aceleiaşi grupe, atît în zonele vizibile cît şi în infraroşu şi în ultraviolet, prezintă caractere analoge. În partea de jos a tabelului vedem totuşi *două şiruri* de elemente care nu se puteau încadra în sistemul lui Mendeleev. În primul şir sînt *lantanidele*, cu proprietăţi atît de apropiate de ale *lantanului, încît trebuiau introduse toate în aceeaşi căsuţă* a acestui element, iar în al doilea şir analog sînt *actinidele*.

Peste tot enigme neliniştitoare. De ce prin acest mod de înregistrare a elementelor obţinem o împărţire a lor pe grupe cu proprietăţi fizice şi chimice asemănătoare? Ce înseamnă înregistrarea elementelor chimice în ordinea greutăţilor atomice crescînde şi de ce uneori nu respectăm acest principiu? De ce nu putem introduce aceste două grupe de elemente în tabela lui Mendeleev? La toate aceste întrebări răspunde simplu şi convingător teoria modernă a structurii atomului. Vom vedea aici, şi în paginile următoare ale acestei cărţi, cum explică aceste probleme fizica de astăzi.

Să începem cu *numărul de ordine*. Şi astăzi ca şi pe vremea lui Mendeleev acest număr *Z* arată numai ordinea de succesiune a elementelor în tabelă. El are totuşi, după cum ştim, un sens fizic precis. Toate elementele se compun dintr-un nucleu-soare şi din electroni-planete. *Numărul de ordine Z arată valoarea sarcinii electrice a nucleului*, sarcină totdeauna pozitivă. Nucleul heliului posedă deci o sarcină electrică de două ori mai mare decît sarcina (elementară) unui proton, nucleul litiului o sarcină de trei ori mai mare etc. Criteriul de aranjare a elementelor nu este deci greutatea atomică (cum credea Mendeleev), ci *tocmai valoarea sarcinii nucleului* exprimată în sarcini elementare, protonice. Numărul *Z* care exprimă valoarea sarcinii nucleului (adică numărul de sarcini elementare) nu concordă cu greutatea atomică. Luînd heliul ca exemplu, am văzut că greutatea atomică depinde de numărul protonilor şi neutronilor conţinuţi în nucleul atomului. Să considerăm acum uraniul. Citim în tabelul lui Mendeleev că greutatea nucleului uraniului este de 238 protoni şi neutroni la un loc. Dacă însă sarcina nucleului de uraniu este egală cu sarcina a 92 de protoni, tragem concluzia că în acest nucleu se află 238 — 92 = 146 neutroni. În jurul nucleului alcătuit din 92 protoni şi 146 neutroni circulă în atomul uraniului 92 de electroni planetari. Acum înţelegem că greutatea atomică este o proprietate întîmplătoare şi nu poate determina proprietăţile chimice ale elementului. Să ne închipuim, de exemplu, nucleul uraniului cuprinzînd încă un neutron. Sarcina nucleului nu va suferi nici o schimbare. Proprietăţile chimice ale elementului, depinzînd numai de numărul electronilor-planete, deci de sarcina nucleului, vor rămîne de asemenea neschimbate. Se va schimba numai greutatea atomică. Structura atomului ne arată deci că aranjarea atomilor făcută de Mendeleev este în ordinea crescîndă a valorilor sarcinilor nucleelor. Trebuie să notăm că creşterea sarcinilor nucleelor este însoţită, în general, de creşterea greutăţilor atomice, însă legătura dintre aceste proprietăţi este în oarecare măsură întîmplătoare şi, după cum ştim, nu există întotdeauna.

Să ne îndreptăm atenţia asupra cîtorva dintre primele elemente chimice ale tabelului. Despre hidrogen şi heliu am vorbit mai înainte. Ştim deci că în jurul nucleului de

heliu circulă doi electroni, formînd în stare normală *pătura K închisă*. Astfel se încheie un anumit stadiu al alcătuirii atomului, ca şi cînd s-ar încheia construirea primului etaj al edificiului atomului.

Să trecem acum la *litiu* (Li) care are numărul de ordine 3. Sarcina nucleului acestui atom este egală cu sarcina a trei protoni. În jurul nucleului de litiu circulă deci trei electroni planetari. Pe ce fel de orbite circulă aceşti electroni în jurul nucleului? În stare normală, doi din aceşti electroni formează *pătura închisă K*. În cuprinsul acestei pături nu există loc pentru al treilea electron. Acest al treilea electron circulă solitar pe orbite mai îndepărtate formînd primul fragment al construcţiei etajului al doilea, care este *pătura L*. Prin ciocnirea electronilor-proiectile cu atomii litiului acest electron solitar este ridicat la niveluri de energie superioare. Pentru acest electron ridicat pe alte orbite mai îndepărtate, nucleul împreună cu pătura *K* formează partea internă a atomului, aşa încît putem spune că la periferia atomului de litiu se află un electron planetar, circulînd în jurul părţii interne a atomului adică aşa cum la atomul de hidrogen circulă un electron în jurul nucleului. Între hidrogen şi litiu există deci o analogie în ce priveşte alcătuirea periferiilor atomice ale acestor două elemente. Dar tocmai *structura acestei periferii determină proprietăţile chimice ale elementului*, unele dintre proprietăţile lui fizice şi, în sfîrşit, *spectrul lui în zona vizibilă*, *infraroşie şi ultravioletă*. Înţelegem deci că periferiile atomice ale elementelor care se află într-o coloană verticală a tabelei lui Mendeleev, sînt alcătuite la fel. La atomul de litiu, unde electronul solitar este ridicat la un nivel de energie superior, avem în partea interioară nucleul înconjurat parcă de un nor format din doi electroni ai păturii *K*. Sarcina (pozitivă) rezultantă a acestei părţi interne a atomului (compusă din nucleu şi doi electroni) va fi de 3—2=1, adică va fi egală cu sarcina unui proton. De aici rezultă că între spectrul hidrogenului şi spectrul litiului trebuie să apară o anumită asemănare. Această concluzie este în concordanţă cu experienţa. Dacă un electron-proiectil expulzează din atom acest electron planetar solitar, aruncîndu-l dincolo de sfera de acţiune a nucleului, vom obţine litiu *simplu ionizat*, avînd atomul compus numai din nucleu şi

doi electroni, care alcătuiesc pătura *K*. Litiul simplu ionizat, excitat pentru a emite radiaţii, prezintă un spectru deosebit, *analog cu spectrul heliului* şi nu cu al hidrogenului. Prin bombardarea litiului simplu ionizat cu electroni-proiectile de viteze foarte mari, s-a reuşit să se obţină litiu *dublu ionizat*, deci lipsit de doi electroni. În jurul nucleului circulă în acest caz numai un electron planetar. Realizăm în felul acesta din nou situaţia hidrogenului. Vom găsi aici iarăşi seriile de linii analoge cu ale hidrogenului, cu singura deosebire că în formulele corespunzătoare, acolo unde la hidrogen figura constanta lui Rydberg (iar în heliul ionizat, constanta lui Rydberg era înmulţită cu $2 \times 2 = 4$), aici, în cazul litiului dublu ionizat) din cauză că sarcina nucleului este egală cu trei sarcini elementare sau protonice, va apărea constanta lui Rydberg înmulţită cu $3 \times 3 = 9$. Seriile corespunzătoare vor fi deci deplasate şi mai mult spre violet decît în cazul heliului. Prin urmare: spectrul litiului neutru (neionizat şi dublu ionizat, prezintă analogii cu spectrul hidrogenului, iar spectrul litiului simplu ionizat este analog cu spectrul heliului.

Elementul care urmează în tabelul lui Mendeleev este *beriliul* (Be) cu numărul de ordine 4. Sarcina nucleului este deci de 4, iar în jurul nucleului circulă patru electroni. Doi din aceştia formează ca şi înainte pătura *K*, iar ceilalţi doi se află la periferia nucleului şi determină proprietăţile chimice şi caracterul spectrului acestui element.

Sărind peste cîteva elemente ale tabelului lui Mendeleev, să trecem la penultimul element din rîndul al doilea, adică la elementul cu numărul de ordine 9, care se numeşte fluor (F). Dintre cei nouă electroni planetari ai atomului, doi formează pătura *K*, iar şapte electroni constituie periferia atomului. Această periferie este aici cu mult mai bine ocupată cu electroni planetari decît partea interioară.

Ultimul element din acest rînd este *neonul* (Ne) gaz nobil, cu numărul de ordine 10. Doi electroni ai săi formează pătura *K* iar ceilalţi opt formează pătura *L*. Astfel am terminat construirea etajului al doilea al atomului pătura *L*. În această fină construcţie atomică, pătura *K* constă din doi electroni, iar pătura *L*, din opt electroni. După cum se vede, o dată cu apariţia unui gaz nobil în tabel, se termină construirea din electroni planetari, a fiecărei pături în parte.

Al unsprezecelea element al tabelului este sodiul (Na) (cu numărul de ordine 11, coloana I.). Cei zece electroni care constituie la un loc partea internă a atomului formează două pături, *K* şi *L*, iar al unsprezecelea rătăceşte singur la periferie. De aici rezultă că proprietăţile chimice ale sodiului sînt analoge cu cele ale hidrogenului şi litiului. O dată cu sodiul începe construcţia etajului al treilea al atomului *pătura M*, a cărui construcţie terminată constă din 18 electroni.

Nu vom urmări aici alte amănunte ale structurii atomilor. În etapele următoare această construcţie devine mai puţin clară, structura ei se complică din ce în ce mai mult. Vom aminti numai că lantanidele ca şi actinidele au caracteristici foarte apropiate (aproape confundabile), deoarece electronii care se adaugă atomului de la un element la altul al şirului *nu completează o pătură periferică* (care determină proprietăţile chimice ale elementului) *ci completează pături interioare.*

Pînă aici am înfăţişat problema alcătuirii diferiţilor atomi prin pură deducţie pe baza tabelului lui Mendeleev. Vom arăta acum prin cîteva exemple simple că experienţa confirmă concluziile trase în tabelul schiţat.

Atomul simplu ionizat este mai sărac decît cel neutru cu un electron planetar. Spectrul atomului simplu ionizat prezintă însă un caracter cu totul deosebit de spectrul atomului neutru. Ştim că spectrul litiului simplu ionizat este analog cu spectrul heliului. Ionizarea simplă a unui element face ca spectrul său să semene cu spectrul elementului care-l precedează în sistemul periodic al lui Mendeleev. Astfel, ionizarea simplă a beriliului (numărul de ordine 4) lasă la periferia atomului numai un singur electron în locul celor doi. Acest spectru se deplasează astfel cu un pas înapoi, devenind analog cu spectrul litiului (numărul de ordine 3), cu singura deosebire că se deplasează înspre culoarea violetă. Ionizarea dublă deplasează spectrul cu doi paşi înapoi; de exemplu, spectrul beriliului dublu ionizat este analog cu spectrul heliului, spectrul litiului dublu ionizat este analog cu spectrul hidrogenului etc.

Mai dăm încă un exemplu. Elementul al optulea este oxigenul (numărul de ordine 8). Doi electroni formează pătura *K*, iar şase electroni se află la periferie. Putem îndepărta electronii periferiei parţial sau chiar total. Vom ob-

ţine toate gradele de ionizare pînă la ionizarea sextuplă inclusiv. Pe baza regulei enunţate mai sus, vom deduce că:

— spectrul oxigenului simplu ionizat, este analog cu spectrul azotului (număr de ordine 7);

— spectrul oxigenului dublu ionizat este analog cu spectrul carbonului (număr de ordine 6);

— spectrul oxigenului triplu ionizat este analog cu spectrul borului (număr de ordine 5) etc.

Dacă părerile lui Bohr despre structura tuturor elementelor sînt adevărate, atunci experienţa ar trebui să confirme această regulă a deplasării liniilor spectrale ale atomilor ionizaţi, adică regula formulată de Sommerfeld şi Kossel. Or, experienţa concordă pe deplin cu concluziile teoretice.

Modelul atomului schiţat de noi cere însă completări. Ce înseamnă faptul că în atomii gazelor nobile, cum sînt heliul, neonul etc. avem anumite fragmente terminate ale structurii edificiului? De ce pe pătura *K* se află numai doi electroni, iar pe pătura *L* opt? Ce lege guvernează „extinderea“ diferitelor fragmente ale structurii atomului? Această lege a fost formulată de Pauli. Iniţial ea a fost o generalizare precaută a concluziilor trase din experienţe, mai tîrziu însă a găsit o motivare teoretică mai adîncă.

Noi ştim că electronul nu se poate deplasa în atom pe orice orbită. Sînt posibile numai acele orbite care îndeplinesc anumite condiţii formulate de Bohr şi Sommerfeld. În pătura *K* poate exista numai o singură orbită circulară. În schimb în pătura următoare *L* putem avea atît o orbită circulară cît şi o orbită eliptică. Să ne închipuim acum că atomul este aşezat într-un cîmp magnetic, de exemplu, între polii unui magnet. Orbita eliptică, după cum se vede în fig. 13, poate fi orientată foarte variat în raport cu sensul cîmpului magnetic. Dar fiecare dintre aceste orbite pe care poate circula electronul trebuie să îndeplinească condiţiile lui Bohr şi Sommerfeld. Or, se vede că nu toate orbitele arătate în fig. 13 vor îndeplini aceste condiţii; le vor îndeplini numai acele orbite eliptice care sînt orientate în anumite sensuri. Orbita eliptică ce aparţine păturii *L* poate fi orientată numai în trei direcţii în spaţiu! Dar nu toate planurile din spaţiu sînt la fel de privilegiate în această privinţă. Electronii se pot mişca numai în trei planuri cu anumite înclinări corespunzătoare direcţiei cîmpului magnetic.

În cazul orbitelor care aparţin păturilor următoare, numărul acestor posibilităţi creşte. Putem avea deci trei orbite eliptice aparţinînd păturii L, care se deosebesc între ele numai prin orientarea în spaţiu. Toate aceste trei orbite împreună cu orbita circulară (adică patru la un loc), însă

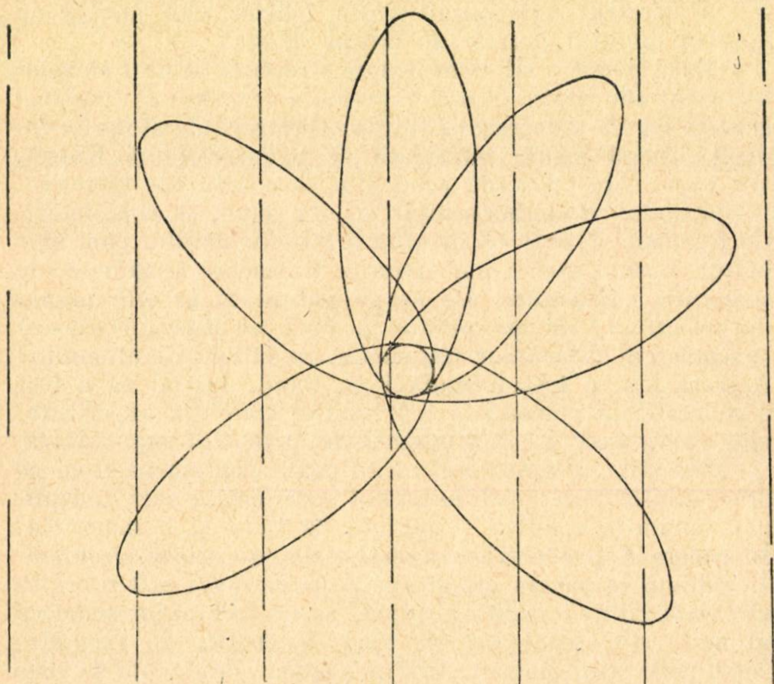


Fig. 13 Diferite orientări ale orbitei eliptice într-un cîmp magnetic

numai ele, vor îndeplini condiţiile lui Sommerfeld. Orice altă orbită eliptică în plus, cu o altă orientare a elipsei, nu va îndeplini aceste condiţii. Şi iată că Pauli formulează în 1925 legea numită după conţinutul ei, *interdicţia lui Pauli*: *Pe fiecare dintre orbitele permise se pot găsi cel mult doi electroni.*

Să ne închipuim un teatru, în care locurile nu sînt numerotate. Oamenii care intră pe rînd în sală ocupă acele locuri, de pe care pot să vadă scena cît mai bine şi cu cel

mai mic efort. La fel într-un atom, electronii ocupă acele orbite, pe care *energia lor potențială poate să fie minimă.* Rîndurile din teatru sînt corespunzătoare păturilor *K*, *L*, *M* etc. din atom. Să ne închipuim mai departe, că în amfiteatrul nostru, în loc de scaune, avem numai bănci de cîte două locuri și care sînt aranjate în următorul mod original: În primul rînd avem numai o bancă, în al doilea rînd patru bănci, în al treilea rînd mai multe bănci etc. Am obținut astfel o imagine analogă cu modelul atomului. Interdicția lui Pauli, care spune că pe aceeași orbită nu pot fi mai mult de doi electroni, transpusă în amfiteatrul nostru, ar suna: în fiecare bancă nu pot ședea decît cel mult două persoane. Doi dintre primii spectatori, care vor intra în teatru, vor ocupa ambele locuri libere din primul rînd. Următorul spectator trebuie să ocupe un loc în rîndul al doilea, în care mai sînt locuri pentru alți șapte spectatori. Cînd și aceste locuri au fost ocupate următorul spectator trebuie să se așeze în rîndul al treilea și așa mai departe. La fel se întîmplă și într-un atom. Cea mai mică energie potențială o are electronul care se află pe pătura *K*, dar aici, conform interdicției lui Pauli, este loc numai pentru doi electroni. Al treilea trebuie să circule pe pătura *L*. Dar în această pătură avem o orbită circulară și trei orbite eliptice — care se deosebesc prin orientarea lor — în total deci patru orbite. Pe aceste orbite, conform interdicției lui Pauli, pot exista numai opt electroni.

Pe păturile mai depărtate de nucleu, este loc pentru un număr și mai mare de electroni, căci acolo există un număr mai mare de orbite eliptice. Dar aici pot apărea anumite complicații. Dacă în teatrul nostru rîndurile mai îndepărtate vor avea din ce în ce mai multe bănci, din locurile laterale scena se va vedea slab și spectatorii vor prefera să stea în rîndul următor, dar la mijlocul rîndului. Într-un atom avem o situație similară. S-a constatat că în cazul cînd într-o pătură sînt mai multe orbite eliptice, electronul poate avea pe unele dintre ele o energie mai mare decît pe orbita circulară a păturii următoare. În cazul acesta astfel de orbite eliptice vor rămîne neocupate, iar electronii vor începe construirea păturii următoare. O astfel de situație se prezintă într-adevăr la atomii mai grei. Ea aduce anumite complicații în tabelul lui Mendeleev,

dar explică în schimb toate neregularitățile acestui tabel, de exemplu apariția grupei lantanidelor sau a actinidelor. În felul acesta, *condițiile lui Sommerfeld*, împreună cu *interdicția lui Pauli*, definesc pe deplin structura electronică a atomilor și constituie baza teoretică a sistemului periodic al elementelor.

Imaginea atomului prezentată de teoria lui Bohr ne face să înțelegem și unele proprietăți chimice ale elementelor. Fizica pătrunde victorios și în domeniul chimiei. Înțelegerea unor fenomene chimice va fi și mai mult adîncită în dezvoltarea ulterioară a științei prin mecanica cuantică.

Modelul lui Bohr ne explică de exemplu afinitatea chimică. Ne mărginim să cităm aici numai un exemplu caracteristic. *Clorul* (numărul de ordine 17) se combină foarte energic cu *sodiul* (numărul de ordine 11). Clorul se află numai la un pas de gazul nobil *argon* (numărul de ordine 18), adică cu un pas înainte de a se sfîrși construirea parțială a păturii *M*. Pentru completarea acestei pături lipsește din atomul clorului numai un singur electron. La periferia sodiului, care aparține coloanei I, circulă un singur electron. El este acaparat de atomul clorului, care în felul acesta a găsit, fericit, ultima cărămidă ce-i mai trebuie pentru isprăvirea construcției parțiale a păturii *M*. Sodiul, lipsit de electronul său periferic, are în jurul nucleului numai păturile *K* și *L*, la fel ca și gazul nobil *neon*. Așadar, atomul de sodiu și cel de clor, *prin combinare*, își modifică structura planetară după modelul gazului nobil care-l precedă, respectiv care-l urmează, în tabel. Atomul de clor are, în urma acestui fenomen, un exces de un electron, iar atomul de sodiu un deficit de un electron, deci cu alte cuvinte, clorul devine un ion negativ, iar sodiul un ion pozitiv. Atracția electrostatică dintre un ion pozitiv și un ion negativ, dă un compus stabil, care este sarea de bucătărie (NaCl).

Elementele coloanei I (cu un singur electron la periferie) sînt monovalente, iar cele din a II-a, bivalente. Procesul de formare a compușilor chimici se petrece adeseori așa cum am schițat în exemplul de mai sus: un atom metalic neutru cedează electronii săi periferici unui atom metaloidic cu care se combină și astfel ambii atomi capătă structura atomică a unor *gaze nobile* cu pătura periferică stabilizată prin completarea sa. Însă o dată cu acest schimb de

electroni atomii neutri respectivi se transformă în *ioni*, care se atrag și formează un *compus chimic* stabil. Fizica aruncă astfel o primă rază de lumină asupra fenomenelor chimice, lumină încă destul de slabă. Un progres esențial în acest sens a putut fi realizat abia cu ajutorul mecanicii noi, cuantice.

Am prezentat în liniile cele mai generale problema structurii atomilor formați din „cărămizi" elementare pe baza teoriei lui Bohr. Imaginea atomului, pe care ne-o prezintă fizica, este la fel de neliniștitoare în frumusețea ei ca și imaginea stelelor și a sorilor din univers.

Capitolul IV

RADIAŢIILE. ATOMII

Marele succes al teoriei lui Bohr constă în explicarea legilor de distribuţie a liniilor spectrului de hidrogen. Datorită ei am înţeles de asemenea multe din legile spectrelor elementelor mai grele. Teoria lui Bohr a explicat mecanismul radiaţiei în zona spectrului vizibil, ultraviolet şi infraroşu. Vom trece acum la alte probleme legate de radiaţii şi de structura atomilor. Dorim să cunoaştem legile cele mai fundamentale ale acţiunii reciproce dintre radiaţii şi atomi.

Razele Roentgen

Revenim la modelul atomului, la acel sistem planetar compus dintr-un nucleu (greu) şi electroni (uşori), care se rotesc în jurul nucleului. Să ne gîndim, de exemplu, la atomul de *sodiu* (numărul de ordine 11). În jurul nucleului său circulă 11 electroni planetari. Doi dintre ei formează pătura *K* cea mai interioară. Alţi opt electroni constituie materialul din care este construit etajul al doilea al edificiului atomic, adică pătura *L*. În sfîrşit, ultimul electron, al unsprezecelea, circulă singuratic la periferia atomului, începînd construcţia păturii *M*. Schematic ne putem închipui alcătuirea atomului de sodiu sub forma arătată în fig. 14. Înţelegem fireşte că o figură de acest fel reprezintă numai o simplificare naivă a adevăratei structuri complicate a atomului. Constatăm (în cazul sodiului), că aici s-a ispră-

vit construirea etajului *K* și *L*. Alte elemente, mai grele, prezintă o structură atomică și mai complicată. Observăm că la ele se isprăvesc și alte etaje ale structurii atomice, adică se construiesc complet păturile *M* și *N* și se începe construirea păturilor următoare. Toate aceste pături care se completează de la un atom la altul, le însemnăm cu literele: *K, L, M, N, O, P*.

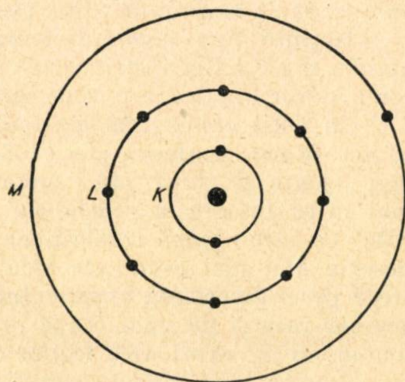


Fig. 14 Modelul schematic al atomului de sodiu

Iată deci denumirile diferitelor etaje ale edificiului atomic. În atomul de heliu apare numai pătura *K* completată cu doi electroni, în atomul de sodiu apar întîi păturile *K* și *L* completate cu doi și opt electroni, apoi pătura *M* parțial completată cu un electron; în atomii elementelor mai grele apar și alte pături din ce în ce îndepărtate.

Pînă acum, tratînd despre structura atomilor, ne-am interesat în primul rînd de electronii care circulă pe păturile de la periferia atomilor, care sînt numai începuturi (fragmente) de construire a unui etaj nou. Dacă electronii planetari, care circulă pe orbitele lor normale, sînt aruncați de pe aceste orbite la niveluri de energie superioare, ei sar înapoi pe orbitele inferioare și devin sursa radiațiilor din zonele: vizibilă, infraroșie și ultravioletă ale spectrului. Liniile spectrale erau determinate de straturile cele mai periferice ale atomilor. De aceste straturi depindeau multe proprietăți fizice și chimice ale elementelor. Ne amintim că asemănarea de structură a elementelor din aceeași coloană a tabelului lui Mendeleev consta tocmai în asemănarea structurii periferiei atomilor.

Se naște o întrebare. Pînă acuma am făcut cunoștință cu fenomenele depinzînd numai de structura periferiei atomului. Există și fenomene pentru care răspunderea o poartă etajele intermediare terminate ale structurii atomice, adică

păturile electronice interne, cum ar fi, de exemplu, păturile K și L în cazul sodiului?

Ne vom convinge că razele Roentgen aruncă o lumină asupra structurii terminate a păturilor interne, la fel după cum unda de lumină ne aduce vești de la periferia atomului.

Înainte de a reveni la teoria care explică nașterea și emisia razelor Roentgen, vom trece la descrierea fenomenelor a căror explicare o vom cere teoriei.

Cu toții cunoaștem existența razelor Roentgen. Știm că aceste raze voalează placa fotografică, că străbat corpuri mai ușoare și chiar plăci metalice subțiri. Astăzi nu ne mai miră fotografia scheletului mîinii și cunoaștem bine rolul pe care-l joacă razele Roentgen în medicină. Nu vom descrie aici nici cum este alcătuit tubul Roentgen. Vom trece peste descrierea experiențelor făcute pentru cercetarea acestor raze și ne vom ocupa numai cu partea esențială a fenomenului: explicarea legilor care stau la baza lui.

Asupra unei plăcuțe metalice (să zicem din aluminiu) cade un torent de electroni foarte rapizi. Desigur că pentru aceasta, în tubul Roentgen a trebuit să imprimăm electronilor-proiectile viteze mari. Acești electroni bombardează plăcuța pusă în calea lor, pe care o numim anticatod. Anticatodul bombardat de electronii-proiectile, devine la rîndul său o sursă de radiații noi, penetrante, numite raze Roentgen. Iată principiul simplu al aparatului Roentgen fără detalii complicate. Ce fel de radiații emite anticatodul? Ce sînt aceste raze Roentgen atît de penetrante? Este oare vorba de o mișcare a particulelor de tipul electronilor ori protonilor, sau este o undă de o anumită lungime de undă și viteză de propagare, care prezintă fenomenul difracției?

Aceste întrebări au fost puse la sfîrșitul secolului trecut, imediat după descoperirea acestor raze de către Roentgen.

Vom trece peste descrierea drumului care a dus la răspunsul acestor întrebări, răspuns perfect clar și categoric: razele Roentgen sînt raze de natură electromagnetică, după cum am spus-o deja în capitolul II, și diferă de razele vizibile, adică de lumină, numai prin lungimea lor de undă mai mică, deci și printr-o putere de pătrundere mai mare. Viteza de propagare a acestor raze este riguros egală cu viteza luminii. De altfel viteza de propagare a oricărei radiații

de natură electromagnetică, este egală cu viteza luminii, indiferent de lungimea de undă.

Anticatodul bombardat de fasciculul de electroni rapizi devine sursa razelor Roentgen, sursa undelor. Să cercetăm aceste unde, la fel cum cercetăm undele de lumină. Le vom lăsa să treacă prin spectroscop, le vom despărţi spaţial în unde de lungimi diferite, vom descompune radiaţiile în componentele lor omogene, pentru ca astfel să cunoaştem spectrul razelor Roentgen la fel cum am cunoscut spectrul luminii albe sau spectrul hidrogenului.

Vom afla mai tîrziu care sînt greutăţile legate de construirea unui spectroscop special pentru razele Roentgen, adică de construirea unui aparat care în domeniul undelor foarte scurte să ne dea fenomenul dispersiei pe care în cazul luminii vizibile l-am obţinut atît de simplu cu ajutorul prismei optice.

Dar să trecem şi peste această dificultate. Să ne închipuim deci că am învins aceste greutăţi, că putem obţine spectrul razelor Roentgen şi că putem descompune aceste raze în componentele lor cele mai simple. Trebuie să ştim că spectrul razelor Roentgen, care au lungimi de undă cu mult mai mici decît razele vizibile, poate fi observat numai prin acţiunea acestor raze asupra unei plăci fotografice. Întrebarea este: vom obţine în felul acesta un spectru discontinuu, adică de linii, sau vom obţine un spectru continuu? Nu ne sînt străine noţiunile de spectru continuu şi discontinuu. Am făcut cunoştinţă cu aceste noţiuni atunci cînd am descris spectrul vizibil. Spectrul soarelui prezintă un caracter continuu, căci observăm în el toate culorile luminii. Spectrul atomic al hidrogenului, al heliului şi al altor gaze, rarefiate, este un spectru de linii. Un astfel de spectru constă din linii înguste, care corespund diferitelor lungimi de undă. Ei bine, în cazul razelor Roentgen întîlnim ambele feluri de spectre, atît cel continuu cît şi cel discontinuu sau liniar. Ne vom ocupa numai de unul din ele şi anume de spectrul liniar. Structura spectrelor liniare ale razelor Roentgen este foarte simplă şi clară.

În radiaţiile emise de anticatod, observăm anumite grupe. Sînt numai cîteva. Aceste grupe de linii au fost numite: *K*, *L*, *M*, *N* etc. Fiecare constă dintr-o serie de linii apropiate una de alta. (Vom vedea mai tîrziu că această

identitate între denumirile seriilor spectrale și denumirile păturilor atomice, nu este întîmplătoare).

Să ne închipuim acum că schimbăm materialul din care e făcut anticatodul, adică folosim de exemplu un anticatod nu de aluminiu ci de argint. Vom observa și în acest caz ca și înainte, grupele de linii caracteristice spectrelor Roentgen, cu singura deosebire că toate liniile spectrale se deplasează spre undele mai scurte.

Caracterul spectrelor vizibile suferă schimbări esențiale de la un element la altul. Structura acestor spectre este în genere foarte complicată, iar clasificarea liniilor lor în serii a necesitat munca îndelungată a multor cercetători. Asemănări între aceste spectre constatăm numai la elementele din aceeași coloană a tabelului lui Mendeleev. Cu mult mai simplu se prezintă pentru aceste elemente spectrul dat de razele Roentgen. Spectrele Roentgen ale tuturor elementelor se aseamănă foarte mult între ele și singura deosebire dintre ele constă în faptul că spectrele elementelor mai grele sînt deplasate mai mult către undele scurte.

Cercetarea spectrelor date de razele Roentgen a început abia în anul 1913, însă datorită simplității lor și datorită faptului că teoria lui Bohr constituia o bună călăuză în studierea faptelor noi, această cercetare a înaintat foarte repede.

Să privim fig. 15. Coloana verticală cuprinde numerele de ordine ale diferitelor elemente. Cel mai ușor dintre ele este *oxigenul* (numărul de ordine 8), iar cel mai greu este *uraniul* (numărul de ordine 92). Între aceste elemente de la extremități găsim numerele de ordine ale elementelor cu greutăți atomice intermediare. Să ne îndreptăm atenția de exemplu asupra elementului cu numărul de ordine 44 (ruteniu). În figură vedem grupa liniilor *K* și *L* ale ruteniului. Pe baza acestei figuri putem aprecia în medie lungimile de undă corespunzătoare acestor linii. Diviziunea orizontală ne arată lungimile liniilor corespunzătoare exprimate în Ångströmi. Deci pentru elementul cu numărul de ordine 44, lungimea de undă corespunzătoare grupei *K* este de aproximativ 0,6 Å, liniile grupei *L* sînt cuprinse între 4—5 Å. Așadar grupa *L* corespunde undelor mai lungi și deci mai puțin dure decît grupa *K*. Următorul element pus în figură este argintul (numărul de ordine 47). Aici întîlnim iarăși cele două grupe *K* și *L*, dar ambele deplasate spre stînga

în regiunea undelor mai scurte, adică în regiunea radiaţiilor mai dure. Trecînd la elementele din ce în ce mai grele, vom găsi acelaşi mod de deplasare a liniilor. Alături de grupele K şi L, s-a constatat pentru elementele mai grele apariţia

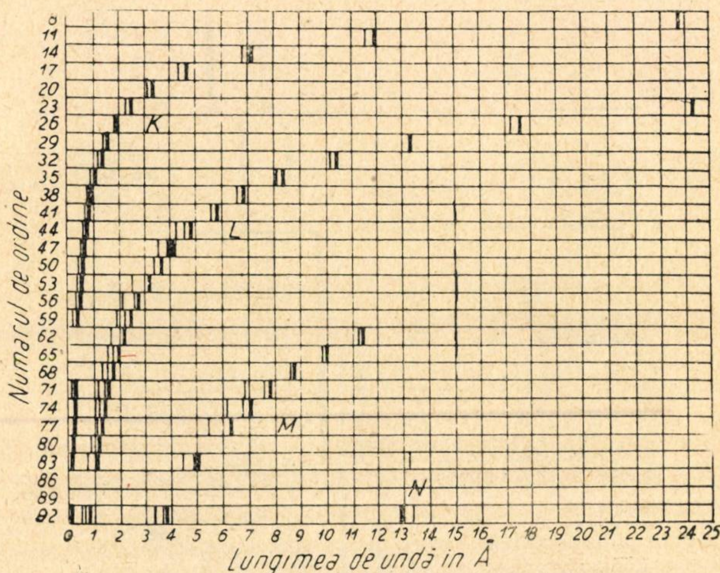


Fig. 15 Spectrele Roentgen ale diferitelor elemente

grupelor mai depărtate M şi N, corespunzătoare undelor şi mai lungi. În fig. 15 observăm şi aceste grupe. Vedem că şi liniile M se deplasează spre undele mai scurte, cînd trecem la elementele din ce în ce mai grele.

Să alegem una dintre grupele care corespund diferitelor elemente şi anume grupa K. Vom ilustra pe exemplul ales, frumoasele rezultate ale experienţelor lui Moseley. În fig. 16 vedem iarăşi liniile K ale cîtorva elemente. În dreapta vedem numerele de ordine ale elementelor şi simbolurile lor. Observăm clar deplasarea liniilor spre undele mai scurte, atunci cînd trecem la un element cu greutate atomică mai mare. Moseley a cercetat spectrele Roentgen ale diferitelor elemente şi a constatat că trecerea de la un element oarecare la cel care-i urmează la rînd, deplasează grupa K

cu un pas spre undele mai scurte: el a găsit în acelaşi timp şi valoarea acestui pas. Vedem, în fig. 16 acei paşi care duc, de exemplu, de la elementul 33 la elementul 34, de la 34 la 35. Pasul următor, între elementul 35 şi 37

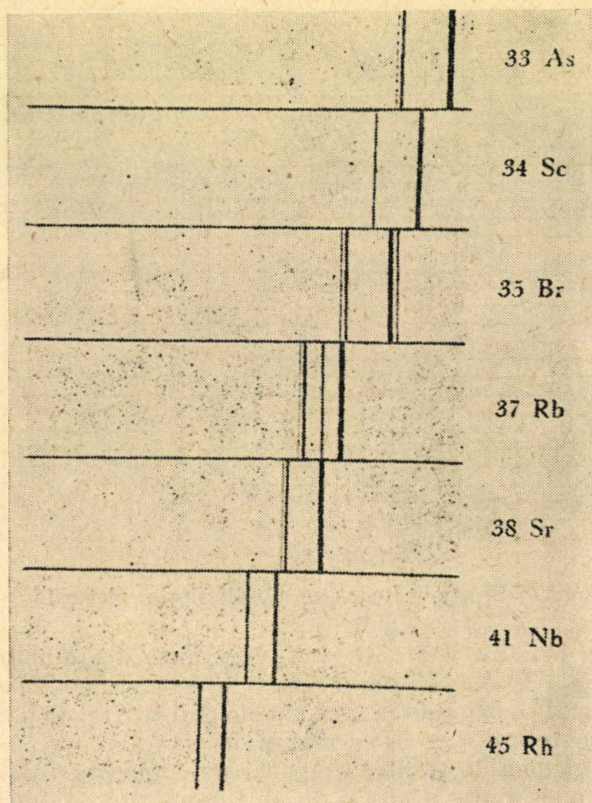


Fig. 16 Seria *K* a spectrelor Roentgen ale cîtorva elemente

este dublu, deplasarea liniilor este mai mare. Chiar dacă n-am şti că aici a fost trecut cu vederea un element, o simplă privire asupra spectrului Roentgen, ne-ar arăta acest lucru. Aceasta rezultă din faptul că deplasarea este mai mare, parcă se compune din doi paşi.

La ce concluzii ne duce acest fapt? Să ne amintim cum erau repartizate elementele în tabelul lui Mendeleev. Această operaţie s-a făcut în două etape: 1) Înşirarea elementelor după greutăţile lor atomice (admiţîndu-se patru excepţii). 2) Înregistrarea elementelor înşiruite în anumite rînduri şi coloane.

Să începem cu prima etapă, cu înşiruirea. Ce factor determină aşezarea într-o anumită ordine? Nu poate fi greutatea atomică, deoarece există patru locuri în tabelul lui Mendeleev, unde a fost încălcat principiul greutăţilor atomice crescătoare. În capitolul III am subliniat faptul că factorul de clasificare a elementelor este *sarcina nucleului*. Dar nici acest răspuns nu ne poate mulţumi. N-am descris metodele care ne duc la cunoaşterea acestei sarcini. Am formulat problema noastră altfel. Atribuim elementelor aranjate în şiruri sarcina nucleului egală cu numărul lor de ordine. Abia legea lui Moseley ne descoperă acel factor de clasificare a elementelor. Să aranjăm elementele în aşa fel încît liniile *K* ale elementului următor să fie deplasate faţă de liniile celui precedent în sensul undelor mai scurte şi vom obţine tocmai înşiruirea pe care o găsim în tabelul lui Mendeleev. Metoda de aranjare a elementelor prezentată aici este absolut strictă şi nu admite nici un fel de excepţie. Ne convingem încă o dată că greutatea atomică este o proprietate întîmplătoare, că abia spectrele Roentgen ne relevă ordinea corectă de aranjare a elementelor în şiruri. Mai mult, aranjînd în acest fel diferitele elemente putem constata precis care din ele nu ne sînt încă cunoscute. Dacă, de exemplu, elementul care urma celui cu numărul de ordine 84 avea spectrul deplasat spre undele mai scurte cu doi paşi, se trăgea concluzia că trebuie să se atribuie numărul de ordine 86 şi nu 85, număr care a fost rezervat pentru astatiniu, element pe vremea aceea încă necunoscut. În felul acesta analiza spectrelor Roentgen nu numai că a stabilit precis ordinea de succesiune a elementelor chimice, dar a arătat în acelaşi timp, unde există lacune, adică locuri libere în tabelul lui Mendeleev, rezervate elementelor încă necunoscute. Toate aceste lacune au fost pînă în prezent completate.

Spectrele Roentgen clasifică deci elementele în mod absolut riguros şi nu admit nici o excepţie.

Etapa a doua în alcătuirea tabelului lui Mendeleev constă în înscrierea succesivă a elementelor deja aranjate, în rîndurile corespunzătoare și în coloanele acestui tabel. Ne amintim că spectrele luminoase ale elementelor puse în una și aceeași coloană prezentau anumite analogii. Tocmai această analogie poate constitui un criteriu de clasificare a elementelor în cadrul tabelului lui Mendeleev. Ne mai amintim că, de exemplu, hidrogenul (număr de ordine 1), litiul (număr de ordine 3), sodiul (număr de ordine 11), prezintă spectre vizibile asemănătoare, căci în toate aceste elemente periferiile atomilor sînt alcătuite la fel, constînd dintr-un singur electron planetar. Structura periferiilor atomice determină caracterul spectrului vizibil. Oare n-ar putea fi spectrele Roentgen acel factor de clasificare în cadrul aranjării sistemului periodic? Ne dăm seama că răspunsul la această întrebare nu poate fi decît negativ. În spectrele Roentgen nu descoperim nici o urmă din acea periodicitate atît de caracteristică pentru tabelul lui Mendeleev. Fiecare trecere la elementul următor deplasează grupa K și de asemenea grupele L și M, dacă ele apar, cu un pas spre undele mai scurte. Aici dispar cu totul asemănările elementelor din coloanele verticale. De aici deducem că formarea spectrelor Roentgen este legată de structura părții interioare a atomului, nu de periferia lui. Asemănarea în structura periferiei nu este legată de asemănarea spectrelor Roentgen. Aceste spectre clasifică perfect toate elementele, dar în același timp fac să se șteargă caracteristicile periodicității. Dacă am fi cunoscut mai înainte spectrele Roentgen ale elementelor nici n-ar mai exista tabelul lui Mendeleev. În schimb, am fi putut să aflăm cît mai precis numerele de ordine corespunzătoare.

Cunoaștem fenomenele esențiale legate de liniile spectrului Roentgen: apariția grupelor K, L, M, N și deplasarea acestor grupe spre undele mai scurte, atunci cînd trecem la un element cu numărul de ordine mai mare.

Cum se explică nașterea spectrelor Roentgen?

Raționamentele pe care le vom desfășura aici sînt analoge cu acelea care au fost prezentate în paginile precedente ale acestei cărți (capitolul III).

Prima etapă în emisia razelor Roentgen, este prepararea atomilor anticatodului, pregătirea lui pentru emisia

care va urma. La spectrul vizibil ea constă în ridicarea unui electron planetar de la orbita normală pe orbitele superioare sau chiar expulzarea lui în afara atomului. Aici proiectilele electronice care pregătesc atomul pentru emisia razelor Roentgen trebuie să aibă o viteză mai mare, o energie mai însemnată. Nucleul atomului seamănă cu o cetate înconjurată cu ziduri de apărare formate din păturile electronice. Ultimul zid — periferiile atomului — nu este terminat. Proiectilele cu viteză mică nu ajung la zidurile electronice interne, ci ridică electronii zidului neisprăvit la etajele superioare, provocînd numai emisia razelor spectrului vizibil. Cînd bombardăm anticatodul cu proiectilele de viteză mare, cîteva lovituri în plin vor ajunge și la zidurile interne de apărare.

Să ne închipuim atomul unuia din elementele mai grele în care s-a isprăvit construirea păturilor *K*, *L*, *M* și începe construirea păturii *N*. Ridicarea electronilor păturii *N* pe orbitele superioare pregătește atomul pentru emisia razelor vizibile. Proiectilele electronice mai rapide lovind anticatodul, vor fi în stare să smulgă un electron din păturile *K*, *L* sau *M* deja terminate. Să presupunem că viteza acestor proiectile este așa de mare, încît ajung pînă la pătura de apărare *K* cea mai interioară. Electronul planetar va fi smuls deci din pătura *K*. Care este soarta sa? El nu va găsi nici un loc în păturile *L* sau *M*, ele fiind ocupate de electronii păturii *L* sau *M*, care constituie fragmente de construcție deja terminate. Locurile libere se află în schimb pe pătura *N*. Un proiectil lovind în plin cu o viteză suficient de mare va fi în stare să scoată electronul planetar din pătura *K*, să-l ridice pînă la *N* sau să-l arunce afară din atom. În felul acesta apare în pătura internă un loc liber ocupat înainte de acest electron. În fig. 17 am prezentat schematic niveluri de energie care corespund fiecărei pături în parte. Pentru a arunca un electron din pătura *K* în *N*, sau chiar în afara sferei de acțiune a atomului, este nevoie de a efectua un lucru mecanic. Valoarea acestui lucru mecanic reprezintă diferențele nivelurilor de energie marcate în fig. 17 prin săgeți. Lucrul efectuat la ridicarea electronului de la nivelul *K* la *N*, este mai mic decît lucrul efectuat la ridicarea acestui electron de la nivelul *K* la nivelul periferic. Proiectilul electronic efectuînd un lucru

mecanic pierde din energia sa şi măreşte în acelaşi timp energia atomului. În felul acesta atomul este pregătit pentru emisia razelor Roentgen.

Să ne închipuim un oraş în care chiria a fost stabilită într-un mod ciudat; ea este cu atît mai mică cu cît locuinţa este mai aproape de centru. În acest caz, chiar dacă nu există lipsă de locuinţe, toate apartamentele din centru vor fi ocupate, iar apartamente libere vor putea fi găsite la periferie, deoarece acolo chiria este mai mare. Iată că un apartament din centrul oraşului a devenit liber. Imediat începe întrecerea. Cine va fi primul care va ocupa locuinţa?

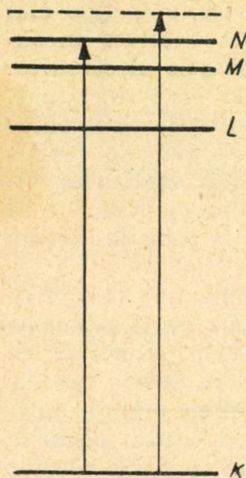


Fig. 17 Excitarea atomului pentru emisia razelor Roentgen din seria *K*

Lucrurile se petrec la fel şi în cazul atomului. Energia joacă aici rolul chiriei. Fiecare electron caută să fie cît mai aproape de centrul nucleului, căci acolo energia sa va fi cea mai mică. Locul gol din pătura *K* va fi ocupat imediat. Un electron de la niveluri mai ridicate va sări pe pătura *K* şi va umple lacuna ivită acolo.

Anticatodul este format dintr-un număr uriaş de atomi. În aceşti atomi trecerea în locul gol pe pătura *K* are loc în mod diferit. La unii atomi, electronul cade de pe pătura *L* cea mai apropiată, iar la alţii cade de pe pătura mai îndepărtată. Aceasta este etapa a doua a acestui proces, etapa emisiei. În cursul salturilor electronului de pe păturile mai îndepărtate pe pătura *K*, atomul pierde din energie. Diferenţa de energie dintre starea iniţială (înaintea saltului) şi starea finală (după salt) este emisă şi aici sub forma unui foton. Acest foton este relativ bogat în energie corespunzînd undei de lungime mică, undei razelor Roentgen:

energia fotonului emis = pierderea energiei atomului determinată de saltul electronului.

Am prezentat grafic procesul emisiei în fig. 18. Lungimea săgeţilor corespunde energiei fotonilor emişi. (Vedem

aici o anumită analogie cu formarea seriei lui Lyman la atomul hidrogenului). Înţelegem că grupul *K* constă nu dintr-o singură linie, ci dintr-o serie de linii, care corespund diferitelor posibilităţi de pornire spre aceeaşi ţintă finală, care este pătura *K*.

În mod asemănător putem să explicăm formarea seriei *L*. Să presupunem că proectilele electronice au viteză mai mică, astfel că ajung la nivelul *L*, dar nu sînt în stare să spargă pătura *K*. Putem şi în acest caz, ca şi mai înainte, să reprezentăm lucrul efectuat în atom de către proiectilele electronice. Vedem însă (fig. 19 *a)*, că acest lucru mecanic este mai mic, deoarece de data aceasta electronii sînt aruncaţi de la nivelul *L*, la niveluri superioare, cu energie mai mică. Atomul a fost pregătit pentru emiterea razelor grupei *L*. Tranziţiilor la nivelul *L* (fig.19*b)* le corespunde emisia liniilor acestei grupe. (Vedem aici o anumită analogie cu seria lui Balmer.) Înţelegem de asemenea că proiectilele electronice destul de rapide pentru excitarea emisiei grupei *K*, provoacă în acelaşi timp şi emisia grupei *L*. Electronul care cade de la etajul *L* la *K*, eliberează locul său. De acest prilej se va folosi un electron din pătura *M* sau *N*, ca să vină cît mai aproape de nucleu, să ocupe o locuinţă mai ieftină. Cu ocazia acestei tranziţii va avea loc emisia unei linii din grupa *L*. Putem deci provoca emisia grupei *L* fără grupa *K* (cînd proiectilele electronice sînt prea încete); în schimb, grupa *K* este totdeauna însoţită de grupa *L* şi de altele mai îndepărtate.

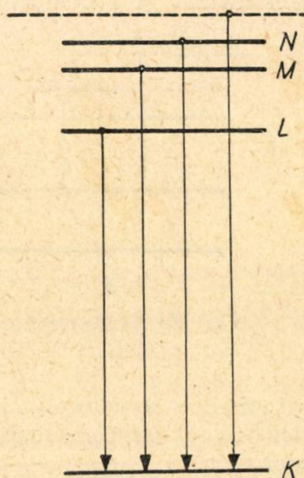


Fig. 18 Emisia seriei *K*

Imaginea emisiei razelor Roentgen schiţată aici ne explică deplasarea liniilor în direcţia undelor mai scurte atunci cînd trecem spre atomii mai grei. Cu cît numărul de ordine al elementului este mai mare, cu atît electronii planetari ai atomului se leagă mai puternic de nucleu, cu atît mai

mare devine diferenţa dintre nivelurile de energie corespunzătoare şi, o dată cu aceasta, energia fotonilor emişi. Ştim însă că o dată cu creşterea energiei fotonilor, apare deplasarea spre undele mai scurte.

Modelul emisiei razelor Roentgen prezentat aici este generalizat şi schematic. În realitate grupa *L* prezintă o

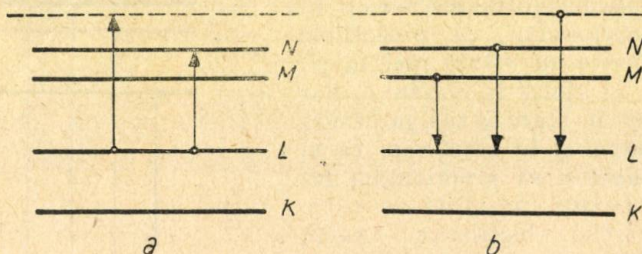


Fig. 19 Excitarea atomului şi emisia seriei *L* a razelor Roentgen

structură mai complicată, numărul liniilor este mai mare decît cel care ar rezulta din imaginea emisiei schiţată aici.

Raţionamente asemănătoare am mai făcut şi înainte. Amintim că în modelul simplificat al atomului lui Bohr, apăreau niveluri de energie *I*, *II*, *III* etc. (la fel şi în atomii elementelor mai grele, apar niveluri de energie ale păturilor *K*, *L*, *M* etc.). Luarea în considerare a corecţiei relativiste, considerarea variabilităţii masei, a complicat acest model teoretic simplificat, al atomului de hidrogen, şi a explicat în acelaşi timp structura fină a liniilor spectrului. Nivelul *II* se descompune în două niveluri de energie apropiate între ele, nivelul *III* în trei niveluri etc. O situaţie asemănătoare va apărea şi aici. Ipoteza că fiecărei pături în parte îi corespunde un anumit nivel de energie, consitituie o foarte mare simplificare a problemei. Schema care ne apropie mai mult de rezultatele experimentale este cu mult mai complicată decît cea prezentată în fig. 18 şi 19. Fiecare dintre nivelurile *L*, *M*, *N* poate fi descompus într-o serie de niveluri diferite. Înţelegem că vom obţine în rezultat o structură cu mult mai complicată a liniilor Roentgen. Se îmbogăţeşte numărul nivelurilor posibile la pornire, creşte numărul nivelurilor care

constituie ținta finală, va crește prin urmare și numărul liniilor care corespund diferitelor tranziții.

Vedem aici din nou trăsăturile caracteristice în evoluția teoriei, pe care le-am observat anterior. Structura teoriei se complică din ce în ce mai mult pentru a putea îmbrățișa lumea bogată a fenomenelor. Instrumentele de gîndire făurite de ea trec apoi în domeniile noi ale fenomenelor constituind o achiziție trainică a științei.

Am pomenit mai sus că în razele Roentgen găsim atît spectrul discontinuu (de linii) cît și spectrul continuu. Noi luam pînă acuma în considerare numai spectrul de linii. El depinde de materialul anticatodului. Acest spectru caracteriza elementul dat, fiind sinonimul lui. Spectrul de linii este deosebit la fiecare element cu toate că caracterul general al acestor spectre nu suferă o schimbare. Altfel se prezintă problema spectrului continuu. El nu depinde de materialul anticatodului, din punct de vedere spectral, ci numai de energia proiectilelor electronice.

Cum ne închipuim apariția acestui spectru? Nu sînt de vină loviturile în plin, puține la număr, care ar fi în stare să arunce afară electronii din păturile interne. Sursa acestui spectru sînt proiectilele electronice oprite, frînate în zborul lor de materialul anticatodului. Energia acestor proiectile se transformă, parte în căldură, parte în radiațiile Roentgen cu spectrul continuu. În cazul cînd imaginea schițată aici este adevărată, putem trage din ea o anumită concluzie.

Să considerăm cazul extrem. Întreaga energie de mișcare a proiectilului electronic se transformă în energia fotonului emis. Fotonul este deci în cazul acesta cel mai bogat în energie, lungimea lui de undă este cea mai scurtă. De aici rezultă că energia proiectilului electronic nu este mai mică decît energia fotonului radiat în spectrul Roentgen continuu. Spectrul continuu al razelor Roentgen prezintă deci o limită precisă înspre undele scurte. Sînt tocmai acele lungimi de undă la care energia fotonului este egală cu energia proiectilului electronic. De la această limită se întinde spectrul continuu în direcția undelor mai lungi și numai în sensul lor. El corespunde acelor fotoni a căror energie este mai mică decît energia proiectilului electronic. Restul energiei se transformă în căldură. Fenomenul descris aici constituie oarecum o inversare a efectului fotoelectric. La efectul

fotoelectric (pag. 57),energia proiectilului fotonic se transformă în energia proiectilului electronic, pe cînd aici avem, oarecum, un fenomen invers.

Existența unei limite nete, bine precizate, a spectrului, este în concordanță cu experiența. S-a constatat de asemenea concordanța cantitativă între teorie și experiență: energia fotonului corespunzător lungimii de undă de la limita spectrului continuu este egală cu energia proiectilului electronic. Concluziile trase aici și confirmate pe deplin de experiență ar fi (la fel ca în cazul efectului fotoelectric) absolut de neînțeles din punctul de vedere al teoriei ondulatorii. În aceste fenomene razele Roentgen trădează *aspectul lor corpuscular*.

Am caracterizat pe scurt problema spectrului de linii și a spectrului continuu ale razelor Roentgen. Ne mai rămîne încă o problemă: în ce fel determinăm lungimile de undă ale razelor Roentgen? Vom consacra cîteva cuvinte și acestei probleme.

Cum aflăm lungimile de undă în cuprinsul spectrului vizibil? Amintim că fenomenul difracției ne permite să stabilim lungimile de undă. Fenomenul difracției (care constituie o derogare de la propagarea rectilinie a luminii) apare atunci cînd deschizăturile sau obstacolele din calea razelor de lumină nu sînt mari în raport cu lungimea de undă. În fig. 1 (pag. 37) am văzut imaginea difracției razelor de lumină la trecerea lor printr-o deschizătură dreptunghiulară foarte mică (fantă). În afară de razele primare, care ne dau un contur clar al deschizăturii, mai întîlnim raze difractate — benzi alternativ luminoase și întunecate, a căror intensitate scade treptat. Distanța dintre acele benzi alternativ luminoase și întunecate ne permite să stabilim aproximativ lungimea de undă.

Dar acest fel de măsurători ar fi foarte neprecis. Tehnica experimentală de astăzi cunoaște metode extrem de precise și sensibile de măsurare a lungimilor de undă ale luminii. Să ne închipuim nu o singură deschidere dreptunghiulară (ca în fig. 1), ci un număr imens de deschideri dreptunghiulare lungi și foarte înguste, așezate foarte aproape una de alta (la distanțe de ordinul miimilor de milimetru). Șirul unor astfel de deschideri ar da o imagine de difracție clară și ar permite o măsurare precisă a lungimilor de undă.

Imaginea de difracţie suferă o schimbare atunci cînd trecem de la o singură deschidere la o serie de deschideri foarte apropiate una de alta. Vom obţine şi acum o bandă luminoasă la mijloc, care corespunde razelor nedifractate (la fel ca în fig. 1); iar în locul dungilor luminoase şi întunecate, *vor apare benzile luminoase pe un fond întunecat.*



Fig. 20 Prezentarea schematică a difracţiei unui fascicol de lumină

Presupunem că lumina incidentă este omogenă. Fig. 20 prezintă schematic imaginea de difracţie care va apare în acest caz. La mijloc avem raza primară, iar pe ambele părţi o serie de raze difractate, din care în fig. 20 au fost luate în consideraţie numai cîte două. La difracţia luminii omogene cu o lungime de undă mai mare creşte şi mărimea difracţiei. Dungile difractate se vor distanţa mai mult, iar distanţa dintre ele va fi mai mare. Din mărimea difracţiei, din distanţa care desparte benzile luminoase, calculăm lungimea de undă.

Dacă însă în locul luminii omogene, cade asupra şirului de fante lumină albă, atunci în lumina difractată vor fi despărţite spaţial undele de lungimi diferite, care aparţin culorilor diferite. Vom obţine un spectru format din toate culorile începînd de la cea violetă, difractată cel mai slab, şi isprăvind cu cea roşie, difractată cel mai puternic. În felul acesta avem posibilitatea nu numai să calculăm lungimea undelor, ci să descompunem şi lumina în componentele ei ca şi printr-o prismă optică.

Tehnica experimentării avansase foarte departe în prepararea deschiderilor mici foarte apropiate una de alta. Acestea erau aşa-zisele reţele de difracţie. Se poate oare obţine fenomenul difracţiei cu ajutorul unor astfel de reţele de difracţie în cazul razelor Roentgen?

Razele Roentgen au lungimea de undă incomparabil mai mică decît lumina vizibilă. Pentru a obţine fenomenul

difracţiei ar trebui să construim deschideri incomparabil mai mici, incomparabil mai apropiate decît pentru razele de lumină vizibile. În cel mai bun laborator de experienţă nu sîntem în stare să construim deschideri atît de mici, atît de apropiate unele de altele, încît să formăm reţeaua de difracţie pentru razele Roentgen. În ce fel s-a putut atunci măsura lungimea de undă a acestor raze?

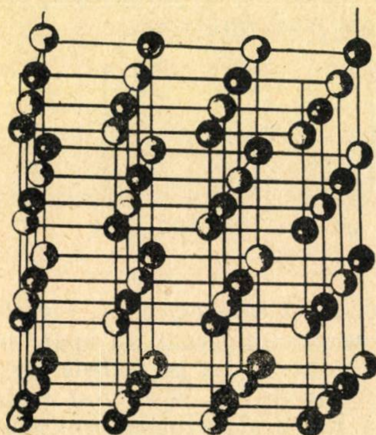
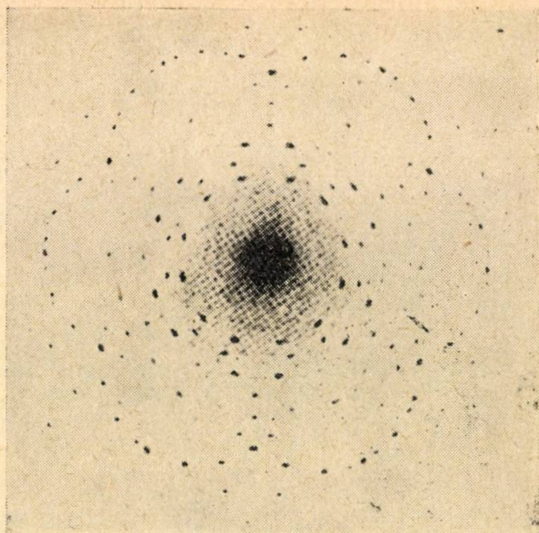


Fig. 21 Un model al cristalului sării de bucătărie

Ideea fericită a lui Max von Laue, în 1912, a arătat cum se poate soluţiona această problemă. Natura însăşi realizează reţele de difracţie, minunat de fine, şi de subţiri, cu o precizie pe care nu o putem atinge în nici un laborator. Un corp solid cristalin este o grupare de atomi aranjaţi perfect, la distanţe foarte mici unii de alţii. În fig. 21 vedem modelul cel mai simplu de alcătuire a unui cristal. În loc de deschideri extrem de mici, avem aici nişte obstacole foarte mici formate din atomii elementului respectiv. Ei sînt aranjaţi în rînduri foarte apropiate, ca şi deschiderile unei reţele de difracţie. Distanţele care le despart sînt însă atît de mici, încît ne putem aştepta ca fenomenul difracţiei să se producă chiar şi cu undele foarte scurte ale razelor Roentgen. Difractăm deci razele Roentgen pe obstacole aşezate foarte aproape unele de altele. Teoria reţelei cristaline a dat-o Laue — mai tîrziu şi alţii — iar din imaginea de difracţie obţinută cu ajutorul acesteia s-a putut deduce lungimea de undă a razelor Roentgen. Să zicem că asupra unui cristal cade un fascicul de raze Roentgen. Pe o placă fotografică vedem imaginea difracţiei după trecerea razelor prin cristal. Nu vom descrie aici diferitele metode folosite la cercetarea spectrelor Roentgen. În fig.22, 23, 24 prezentăm fotografiile imaginilor de difracţie obţinute prin folosirea diferitelor

Fig. 22 Imaginea razelor Roentgen difractate de un cristal prin folosirea metodei lui Laue



metode. În toate aceste fotografii vedem la mijloc raza nedifractată, iar apoi sub formă de puncte sau cercuri, razele difractate. Din astfel de fotografii aflăm lungimile de undă ale spectrelor Roentgen.

Analiza spectrelor Roentgen, începînd de la descoperirea lui Laue, a determinat o cunoaștere foarte avansată a acestor spectre. Ea a aruncat în același timp o lumină nouă asupra problemei structurii atomilor, a făcut posibilă cercetarea acestei structuri, așezarea în spațiu a atomilor în cristale și în molecule chimice.

Efectul Compton

Să zicem că o undă de lumină cade asupra materiei. Materia o lasă să treacă sau o absoarbe, o dispersează sau o reflectă. Corpurile perfect transparente sau perfect dispersate sînt ficțiuni. Cînd o undă trece printr-un strat gazos, oricît de transparent ar părea el, întotdeauna va apărea fenomenul dispersiei. Trecerea undei primare printr-un gaz este întotdeauna însoțită de fenomenul de spargere a undei, de împrăștiere a ei în toate direcțiile. Fracțiunea energiei

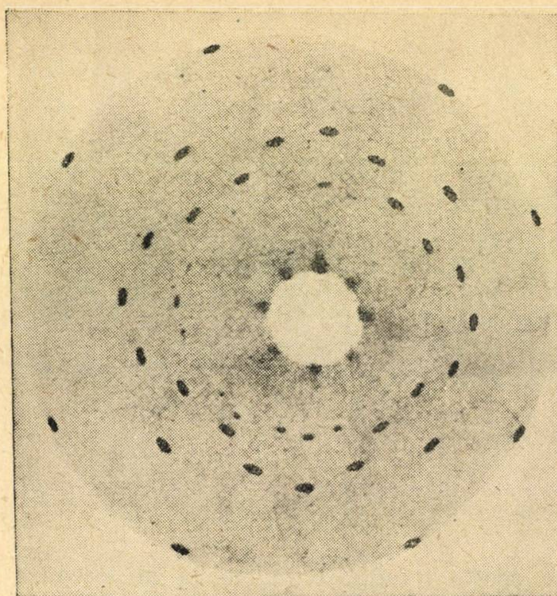


Fig. 23 Imaginea razelor Roentgen difractate de un cristal prin folosirea metodei lui Laue

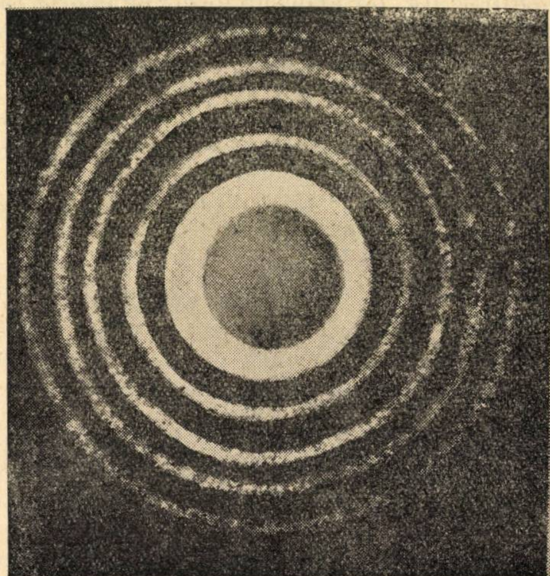


Fig. 24 Imaginea razelor Roentgen difractate de un cristal prin folosirea metodei lui Debye-Scherrer

împrăştiate este relativ foarte mică dacă corpul este „transparent".

Cum ne imaginăm în fizică acest fenomen clasic al dispersiei luminii? O undă omogenă care cade asupra moleculelor unui gaz sau asupra moleculelor unui lichid are o anumită frecvenţă. Ea impune mediului prin care trece ritmul vibraţiilor sale. Mediul devine el însuşi sursa unor vibraţii cu acelaşi ritm, al undei ce cade asupra lui. Alături de unda primară apar unde mici, slabe, care se împrăştie în toate direcţiile, sursa lor fiind mediul respectiv. Un lucru însă este esenţial: că ritmul undei incidente nu va fi deformat şi că — după cum rezultă din fizica clasică — *lungimea de undă a luminii dispersate este egală cu lungimea de undă a luminii incidente*.

Am citit atîtea poezii inspirate de azurul cerului! Omul admiră din vremuri imemorabile priveliştea cerului albastru, căutînd să redea frumuseţea lui în cuvinte sau în picturi colorate. Acelaşi sentiment de admiraţie ne cuprinde cînd facem cunoştinţă cu lucrările lui Rayleigh şi Smoluchowski, care au explicat cauza culorii albastre a cerului.

Pînă şi moleculele gazului celui mai rarefiat dispersează lumina vizibilă. Dar o dispersează cu atît mai puternic, cu cît unda de lumină incidentă este mai scurtă. Unda primară a luminii solare trece printr-un strat al atmosferei. O mică parte a acestei energii suferă o dispersie. Dar această dispersie va fi neuniformă. Lumina roşie nu este dispersată aproape de loc. Cu cît unda este mai scurtă, cu atît dispersia este mai puternică. Cea mai puternică dispersie o vor suferi razele violete (în spectrul vizibil). Cerul nu este alb, căci atmosfera nu împrăştie uniform toate culorile. Culoarea lui albastră este mai apropiată de capătul violet al spectrului.

Explicarea culorii albastre a cerului s-a dat înainte de naşterea teoriei cuantelor. Fenomenul dispersiei, care *nu schimbă lungimile de undă*, este una dintre concluziile fizice clasice izvorîtă din teoria ondulatorie a radiaţiilor. Am putea traduce concluzia obţinută, în limbajul teoriei corpusculare. Proiectilele fotonice incidente se împrăştie în parte în toate sensurile. Dar rămîn aceiaşi fotoni. Energia lor (deci şi lungimea lor de undă) nu suferă nici o schimbare.

Să ne amintim pe scurt, fenomenul fotoelectric (pag. 57) un fenomen de neînţeles din punctul de vedere al teoriei ondulatorii, care rezultă însă foarte simplu din teoria corpusculară a luminii. Asupra unei plăci metalice cade un proiectil fotonic. El smulge un electron din metal, iar energia proiectilului se transformă în energia de mişcare a electronului smuls.

Am pomenit aici de două fenomene: 1) fenomenul dispersiei, 2) fenomenul fotoelectric. În primul caz, lumina îşi manifestă natura ondulatorie, în al doilea caz, natura sa corpusculară.

Să dăm pentru ilustrare un exemplu care va da mai multă plasticitate raţionamentelor ce vor urma. Avem un automat. După introducerea unei monezi de 50 de groşi şi apăsarea pe buton, el va arunca afară un timbru poştal de de 50 de groşi. Iată imaginea efectului fotoelectric. Proiectilul fotonic (50 groşi), aruncă afară un electron cu energia egală cu a sa (timbrul poştal de 50 de groşi). Dacă automatul este gol, ne dă cei 50 de groşi înapoi. În acest caz obţinem modelul fenomenului de dispersie. *Acelaşi foton (50 groşi) schimbă sensul mişcării sale, păstrînd energia iniţială.* Dar pot exista automate care după introducerea monezii de 50 de groşi, aruncă afară un timbru de 30 de groşi şi o monedă de 20 de groşi. Există oare în fizică un efect asemănător? El ar fi ceva intermediar între fenomenul dispersiei şi al efectului fotoelectric. Ar consta tocmai în aceea că *energia fotonului se transformă parţial în energia de mişcare a electronului, iar restul este dat afară sub forma unui foton cu energie mai mică.* Suma dintre energia electronului smuls (valoarea timbrului) şi a fotonului emis (restul în monedă) trebuie să fie egală cu energia fotonului incident (monedă introdusă) (v. fig. 25 pag. 155). Acest efect uimitor a fost descoperit în 1923, de către *A.H. Compton* şi este denumit *efectul Compton.*

Alegem un fascicul dur, omogen, de raze Roentgen, de exemplu una dintre radiaţiile grupei *K*, emise de anticatodul preparat dintr-un material relativ greu (de exemplu, molibden). Fasciculul de raze Roentgen cade asupra unui corp relativ moale, (cărbune, parafină, hîrtie). Apare fenomenul dispersiei. Fasciculul incident într-un anumit sens se împrăştie în toate direcţiile. Cercetăm lungimea de undă a razelor dispersate. Înainte de constatarea efectului pe

care ni-l arată experiența, să încercăm să efectuăm anumite raționamente, și anume de două ori, adică din două punc e de vedere diferite: din punctul de vedere al *teoriei ondulatorii* și din punctul de vedere al *teoriei corpusculare*.

Adeptul teoriei ondulatorii nu va observa nici o diferență între fenomenul dispersiei razelor Roentgen și fenomenul dispersiei razelor de lumină. Atît în primul cît și în al doilea caz, există un anumit ritm impus de radiațiile incidente. Mediul transmite acest ritm razelor dispersate. Lungimea de undă a luminii dispersate este deci riguros egală cu lungimea de undă a razelor incidente.

Adeptul teoriei corpusculare raționează altfel. Acțiunea reciprocă a materiei corpusculare și a radiației constă în ciocnirea dintre un foton și un electron. Presupunem că mediul dispersant este carbonul. Fiind un corp relativ ușor (cu un număr de ordine mic), el are la periferie electroni slab legați de nucleul atomului. Lucrul mecanic pe care ar trebui să-l efectuăm ca să smulgem acești electroni atomului (ionizarea), este relativ mic. Nu săvîrșim nici o greșeală dacă presupunem că electronii externi care circulă la periferiile atomului sînt liberi. Trecem cu vederea energia lor de valență, care este relativ mică în raport cu energia fotonilor incidenți. Notăm că această ipoteză este valabilă numai în cazul razelor Roentgen dure. Fotonul razelor Roentgen dure este atît de bogat în energie, încît putem neglija legăturile slabe ale electronilor periferici ai carbonului. Se înțelege că eroarea pe care o facem este cu atît mai mică cu cît radiațiile incidente sînt mai dure. Presupunem deci că are loc o ciocnire a proiectilului fotonic (de o anumită energie) cu un electron liber. Să ne folosim de o analogie din mecanica clasică. Are loc ciocnirea între două sfere, dintre care una se mișcă foarte repede (fotonul), iar cealaltă se află în repaus (electronul). Procesul ciocnirii este procesul de schimbare a energiei între cele două sfere. Sfera cu viteză mare pierde o parte din energia ei pe care o preia sfera care inițial era în stare de repaus. Suma energiilor ambelor sfere rămîne însă constantă! Fotonul, care după ciocnire sare înapoi, *este mai sărac în energie*, în schimb viteza electronului ciocnit de el *crește*. Dacă imaginea schițată aici este adevărată, atunci radiațiile dispersate sînt formate din fotonii mai săraci în energie, adică trecînd la terminologia

ondulatorie, spunem că *au o lungime de undă mai mare*. Prin urmare materia dispersează și transformă radiațiile incidente, *în radiații cu unde mai lungi*, adică face ca raza Roentgen să devină mai moale. Observăm aici analogia cu aparatul care dădea restul de bani. Proiectilul fotonic a *sporit energia de mișcare a electronilor planetari, iar fotonul dispersat este mai sărac în energie tocmai cu acel rest.*

Înainte de a răspunde la întrebarea dacă experiența a hotărît pro sau contra teoriei corpusculare a radiației, să analizăm această problemă nu numai sub aspectul său calitativ. Metodele teoriei cuantelor ne vor permite să prevedem rezultatul ciocnirii unui foton cu un electron. Să dăm aici rezultatul unor analize matematice pentru un singur caz particular. Să presupunem că dintr-o anumită direcție cade un fascicul de raze Roentgen; el este dispersat în toate direcțiile, o dată cu creșterea concomitentă a lungimii de undă. Schimbarea lungimii de undă depinde de direcția razei dispersate. Cum se va schimba lungimea de undă dacă vom observa razele dispersate în planul perpendicular pe razele incidente? Cu cît se va mări lungimea de undă dacă unghiul dintre direcția de observare a fasciculului dispersat și direcția razei primare (incidente) va fi de 90°?

Teoria ne dă următorul răspuns:

$$\textit{creșterea lungimii de undă} = \frac{\textit{constanta lui Planck}}{\textit{masa electronului} \times \textit{viteza luminii}}$$

Nu ne miră că în această formulă găsim mărimile caracteristice atît pentru electron (masa electronului) cît și pentru foton. De asemenea și constanta lui Planck apare în această formulă, deoarece o găsim în relația fundamentală dintre energia fotonului și lungimea de undă. Valorile numerice corespunzătoare acestor mărimi se află la pag. 50. Efectuarea unui calcul simplu ne dă ca rezultat:

$$\textit{creșterea lungimii de undă} = 0{,}0243\ \text{Å};$$

pe care experiența îl confirmă. Unda dispersată nu este atît de dură, iar schimbarea lungimii de undă în direcția perpendiculară pe raza incidentă arată, în limitele preciziei, concordanța deplină cu prevederile teoriei. Radiațiile par să manifeste deci în efectul Compton natura lor corpusculară. Nu

putem înţelege, nici explica acest efect pe baza teoriei ondulatorii.

Se impun însă următoarele observaţii.

Am constatat că creşterea lungimii de undă nu depinde de faptul că razele incidente sînt mai mult sau mai puţin dure. Ea *este întotdeauna de 0,0243* Å (cînd le observăm sub unghiul complementar unghiului de incidenţă). În acest caz, această creştere va apare şi la spectrul vizibil. Dar această concluzie nu concordă cu experienţa. Explicarea acestei contradicţii aparente este simplă. Pentru un foton cu energie mică (făcînd parte deci din spectrul luminii vizibile), nu vor fi satisfăcute condiţiile fixate de premisele raţionamentului nostru. În cazul acesta nu putem admite că electronul de la periferia atomului este liber. Problema ciocnirii se va prezenta aici în mod cu totul deosebit. Să ne închipuim ciocnirea unei sfere de un perete imobil. Sfera îşi *va schimba direcţia şi sensul mişcării, dar îşi va păstra energia ei iniţială.* La fel şi aici, fotonul cu energie mică, ciocnindu-se cu un electron puternic legat de nucleu va sări înapoi, schimbînd direcţia şi sensul mişcării, dar îşi va păstra energia iniţială, adică lungimea de undă, în conformitate cu prevederile fizicii clasice.

Raţionamentul schiţat aici ne mai explică încă un fapt dat de experienţă. Vedem că alături de liniile lui Compton deplasate spre spectrul corespunzînd undelor mai lungi, observăm şi linia care corespunde lungimii undei primare, la fel ca în efectul clasic. Această linie apare în urma ciocnirii fotonului cu un nucleu greu, care joacă rolul acelui perete imobil. Astfel de ciocniri nu modifică energia fotonului.

Fenomenul lui Compton lărgeşte sfera fenomenelor în care radiaţiile manifestă structura lor corpusculară. Mai tîrziu a fost descoperit un alt efect care prezintă o anumită analogie cu efectul Compton. Este *efectul Raman*, pe care-l vom descrie în cele ce urmează

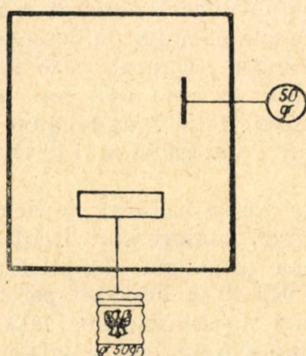
Efectul Raman

Fenomenul descris mai jos se petrece în cuprinsul *spectrului vizibil.* Sîntem în prezenţa unui „gaz“ monoatomic, de exemplu vapori de mercur. În stare normală atomii de mercur se află la nivelul cel mai scăzut. Am făcut deja

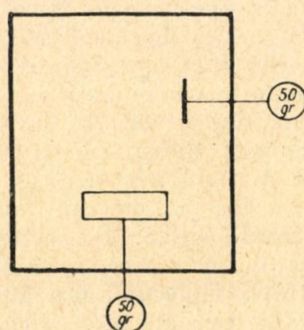
cunoştinţă cu metodele prin care putem face să crească energia atomului. Ştim că proiectilele electronice ridică electronii planetari la niveluri de energie superioare. Lucrul mecanic cheltuit de un proiectil electronic cu excitarea atomului este recuperat cînd electronul planetar revine la nivelul său normal. Putem oare obţine excitarea atomului în alt mod, fără a apela la proiectilele electronice? Experienţa ne arată că în anumite cazuri, acest rol îl pot juca *proiectilele fotonice*. Să ne închipuim că asupra unui număr mare de atomi de mercur (în stare gazoasă), cade un fascicul de lumină omogenă, deci un torent de fotoni cu o energie bine stabilită. Să presupunem în plus că am ales în aşa fel lungimea de undă a luminii incidente, încît energia fotonului este exact suficientă pentru a excita atomul, ca să ajungă de la starea normală la nivelul de energie cel mai ridicat. În fenomenul ciocnirii unui foton cu un atom, fotonul pierde energia sa pe care o cîştigă atomul mercurului. Atomul de mercur se va ridica la un nivel de energie superior, îşi va îmbogăţi energia sa pe socoteala energiei proiectilului fotonic. Lungimea de undă a fotonului care va fi capabil să ridice atomul la un nivel de energie superior *s-o numim lungimea de rezonanţă a undei* (prin analogie cu termeni folosiţi în capitolul III).

Atomul a fost excitat, iar trecerea la starea normală iniţială este legată iarăşi de emisia unui foton. Revenind la starea normală, atomul mercurului emite un foton, care corespunde exact energiei absorbite. *Lungimea de undă a luminii emise este deci egală cu lungimea undei de lumină incidente*. Revenind încă o dată la comparaţia folosită anterior, lucrurile se petrec ca şi în cazul unui automat din care lipsesc timbre de 50 de groşi (fig. 25). Automatul înghite moneda de 50 de groşi (un foton de o anumită energie) şi o emite înapoi sub un alt unghi. Există oare şi aici un fenomen analog cu restituirea unui rest de către automat? Pentru a merge mai departe cu analogia noastră să schimbăm rolul automatului nostru. Nu va mai fi un automat care după introducerea monedei de 50 de groşi (un foton) scoate un timbru poştal de 30 de groşi şi un rest de 20 groşi (un foton cu energie mai mică). Să ne închipuim un automat care schimbă pur şi simplu 50 de groşi (fotonul incident) în treizeci de groşi (presupunem existenţa unei monede de acest

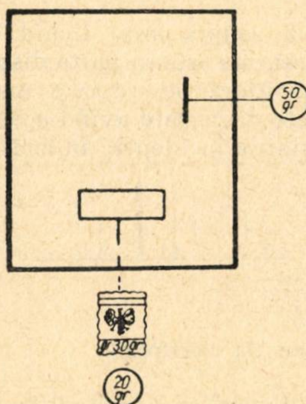
Modele de automate pentru



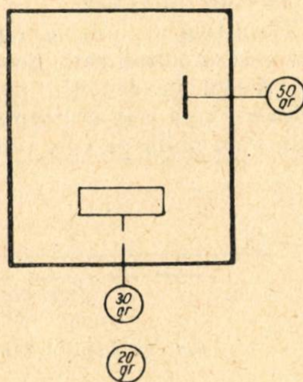
fenomenul fotoelectronic



fenomenul dispersiei



fenomenul lui Compton



fenomenul lui Raman

Fig. 25

fel) şi în 20 de groşi, deci *în doi fotoni cu energii mai mici*! Iată modelul efectului Raman.

Asupra unei molecule cade un proiectil fotonic. O parte a energiei lui efectuează un lucru mecanic asupra moleculei, iar restul de energie este aruncat înapoi sub forma unui foton cu energie mai mică. Existenţa acestui efect a fost prezis în 1923 de către Smekal. Teoria ne-a dus la descoperirea unui fapt nou dat de experienţă. În anul 1928 acest fenomen l-au descoperit independent unii de alţii, savantul indian Raman şi doi savanţi sovietici, Mandelstam şi Landsberg. Raman însă a publicat lucrarea sa mai devreme şi de aici numele acestui efect.

La început efectul Raman a fost constatat la lichide şi corpuri solide. În aceste corpuri atomii sînt legaţi în molecule. Aici trecem cu vederea problema complicată a alcătuirii moleculei din atomi. Nu vom descrie spectrele caracteristice ale moleculelor, nici deosebirile lor faţă de spectrele atomilor. Aceste probleme n-au fost soluţionate satisfăcător nici pînă astăzi. Vom spune numai pe scurt că nivelurile de energie există şi în molecule şi că emisia constă aici tot în trecerile de la nivelurile de energie superioare la cele inferioare.

Trimitem o lumină omogenă asupra unui lichid (în cazul nostru cloroform). Această lumină este în parte dispersată. Astfel în direcţia perpendiculară pe direcţia undei incidente, vom afla şi acuma razele dispersate avînd aceeaşi lungime de undă pe care o are lumina incidentă, în concor-

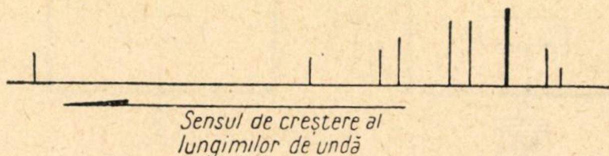


Fig. 26 Liniile lui Raman (la cloroform)

danţă deplină cu efectul clasic al dispersiei fără modificarea lungimii de undă. Dar aici apare un fenomen nou şi uimitor. În afară de această linie principală mai apar şi altele. Să privim fig. 26. Linia principală (cea mai groasă din figură) corespunde efectului clasic, efectului dispersiei fără schimbarea energiei. Dar în afară de ea vom găsi linii noi, pe care

nu le vom putea explica pe baza teoriei ondulatorii a luminii. Aceste linii apar pe ambele laturi ale liniei principale. Ne interesează deocamdată numai acelea care se află la stînga liniei principale, prin urmare acelea care se deplasează spre undele lungi. (Dacă, de exemplu, linia principală e violetă, în cazul acesta cele laterale deplasate la stînga pot fi albastre sau verzi). Ele corespund resturilor cuantice. O parte din energia fotonului a fost folosită pentru excitarea atomului, partea cealaltă însă a fost respinsă de moleculă sub forma unei radiaţii cu o lungime de undă mai mare. Raportul care apare în efectul Raman poate fi exprimat în felul acesta: *energia proiectilului fotonic = creşterea energiei moleculei + restul de energie respinsă sub forma unui foton.*

Tocmai acel rest îl vedem în liniile lui Raman. Partea stîngă a ecuaţiei ne este cunoscută. Ştiind cît de mare este lungimea de undă a luminii incidente, cunoaştem energia fotonului. Măsurînd lungimile de undă ale liniilor lui Raman, putem să calculăm valoarea restului respins. Cunoaşterea acestor două expresii ne va permite să calculăm creşterea energiei moleculare: *creşterea energiei moleculare = energia proiectilului fotonic — restul respins.*

Molecula revine la nivelul său de energie iniţial, la starea în care era înainte de excitare. Acest act este însoţit de emisia unui foton de o anumită lungime de undă. În felul acesta cunoaştem indirect una dintre lungimile de undă *caracteristice pentru moleculă.*

Amintim raportul cunoscut dintre energia fotonului şi lungimea undei razei emise:

$$\textit{creşterea energiei moleculare} = \frac{\textit{constanta lui Planck} \times \textit{viteza luminii}}{\textit{lungimea de undă}}$$

Ecuaţiile scrise aici ne arată la rîndul lor că putem să aflăm indirect, din liniile lui Raman, ce lungimi de undă au *radiaţiile proprii* ale corpului care dispersează lumina. Adeseori aceste lungimi de undă se află în zona inaccesibilă pentru cercetări directe, în zona infraroşului foarte îndepărtat. Efectul Raman face posibilă cercetarea lor vizuală, deplasîndu-le în spectrul vizibil. Gîndirea teoretică ne arată posibilităţi noi de cercetare, deschide domenii pînă acum inaccesibile pentru experienţă. Diferitele linii

ale lui Raman corespund diferitelor lungimi de undă proprii ale moleculelor. Cunoscînd resturile energetice, calculăm în mod simplu fracțiunile de energie absorbite ale fotonului-incident și cu aceasta lungimile de undă corespunzătoare lungimilor de undă din zona infraroșului. Acolo unde aceste lungimi de undă ale spectrului propriu pot fi găsite direct, acolo ecuațiile scrise mai sus constituie numai confirmarea teoriei. Calculăm atunci lungimile de undă ale liniilor lui Raman și găsim că într-adevăr, ele corespund pe deplin cu experiența.

Am arătat ce înseamnă liniile așezate la stînga acelora care aparțin undei incidente. Se mai observă însă niște linii slabe, mai puțin numeroase, în direcția undelor scurte. Existența lor prezintă un extraordinar interes teoretic.

Să ne imaginăm că proiectilul fotonic cade asupra unei molecule care nu se află în starea inițială, ci în stare de excitație, avînd un nivel de energie mai înalt. În anumite cazuri (în general rare) poate să aibă loc în urma acelui șoc suferit de către moleculă, căderea la un nivel de energie inferior. Molecula nu numai că nu va folosi atunci energia proiectilului fotonic incident, ci din contra, va emite un foton de radiație proprie, *care de data aceasta se unește cu proiectilul fotonic incident într-un foton mai bogat în energie.* Pentru astfel de linii putem scrie o ecuație de forma următoare:

energia fotonului emis = energia fotonului incident + energia fotonului radiației proprii.

Aceste linii corespund unei lungimi mai mici de undă, prin urmare sînt deplasate spre dreapta liniei principale, deci spre violet.

Între efectele Compton și Raman descrise aici, observăm anumite analogii. În ambele fenomene radiațiile trădează parcă natura lor corpusculară. Ambele efecte constau în transformarea suferită de energia fotonului în procesul ciocnirii cu materia corpusculară, deci și în transformarea lungimii de undă a razelor incidente. Fenomenele apar însă în zone spectrale diferite. Efectul Compton apare la radiații cu lungimi de undă foarte scurte, cum ar fi razele Roentgen sau radiații și mai dure, iar efectul Raman apare în zona spectrului vizibil.

Capitolul V

NOUA MECANICĂ CUANTICĂ

GENEZA NOII MECANICI CUANTICE

Teoriile ştiinţifice apar, se dezvoltă, ating un apogeu, apoi decad şi dispar. Ele îşi trăiesc ziua naşterii, primele succese, marile triumfuri, ca mai tîrziu să facă loc ideilor noi, teoriilor noi şi să decadă cu totul.

În paginile precedente ale acestei cărţi am schiţat istoricul marilor victorii ale teoriei lui Bohr. Această teorie s-a născut dintr-o concepţie simplă şi genială de a introduce ideea discontinuităţii, teoria cuantelor în domeniul structurii materiei. Înainte de a ne lua rămas bun de la teoria lui Bohr, să trecem încă o dată în revistă rezultatele obţinute de ea.

Într-un atom de hidrogen circulă un electron pe una dintre orbitele cuantice. Fiecărei orbite îi corespunde un nivel de energie bine definit. Atomul este excitat prin ridicarea electronului de pe orbita normală (prima) pe o orbită superioară. Căderea pe o orbită inferioară este întovărăşită de emiterea unei radiaţii. Energia proiectilului fotonic emis este egală cu diferenţa dintre energiile a două niveluri: al celui iniţial şi al celui final. Teoria lui Bohr ne explică în mod simplu regularitatea liniilor spectrului de hidrogen observate de Balmer. Primul mare succes al acestei teorii este explicarea constantei lui Rydberg, legarea ei de constantele care caracterizează mărimile fizice de bază. Concordanţa perfectă între valoarea calculată teoretic şi valoarea obţinută pe calea măsurării ne asigură că am înaintat cu un pas mare în cunoaşterea legilor de guvernare a lumii

microfizice. Dar acesta nu este singurul ei succes! Să amintim problema heliului ionizat, deplasarea liniilor spectrului său în raport cu liniile hidrogenului, structura fină a spectrelor, teoria razelor Roentgen, aranjarea elementelor şi modelele lor structurale, problemele nucleului, efectele Compton şi Raman şi vom înţelege valoarea şi fertilitatea ideilor lui Bohr.

Am schiţat mai sus succesele şi triumfurile teoriei lui Bohr. Dar în acest capitol vom prezenta nu victoriile, ci insuccesele acestei teorii şi naşterea unor alte idei mari, legate de căderea ei. Apusul teoriei lui Bohr coincide cu *naşterea mecanicii cuantice.*

Cum mor teoriile? Căderea lor s-ar putea asemăna adeseori cu marasmul senilităţii, cu moartea naturală. Faptele prezentate anterior ne vor permite să dezvoltăm această ideie.

Modelul iniţial al lui Bohr nu ne explică structura fină a spectrelor. Dezvoltarea spectroscopiei ne pune în faţă date experimentale noi. Regula descoperită înainte de Balmer devine numai o primă aproximaţie. Descoperim complexitatea structurii diferitelor linii. Pentru a o explica, renunţăm la concepţia iniţială, simplă, a orbitelor electronice circulare. Complicăm structura matematică a teoriei, o eliberăm de ipoteze vechi simplificatoare, ca să obţinem astfel concordanţa concluziilor sale cu datele noi ale experienţei. În afară de orbitele circulare introducem orbite eliptice, pe urmă renunţăm la ideea invariabilităţii masei şi introducem în problemele structurii atomului rezultatele teoriei relativităţii.

Stăpînirea dificultăţilor devine un succes al teoriei. Dar imediat apare o dificultate nouă. Teoria prevede structura complexă a liniilor hidrogenului, dar concluziile ei nu sînt în acord deplin cu experienţa. Nu ştim de ce apar numai unele dintre descompunerile prevăzute de teorie. Această problemă este soluţionată de o idee teoretică nouă: regula selecţiei. Ea constituie sita prin care trebuie trecute toate posibilităţile arătate de teorie, pentru a înlătura pe acelea care nu se realizează în natură.

Exemplul schiţat aici şi dezvoltat mai pe larg într-un capitol precedent, ne arată că în dezvoltarea ei structurală teoria se complică din ce în ce mai mult. Din această

întrecere, din lupta dintre teorie și experiență, victoria este totdeauna de partea experienței. Teoria devine din ce în ce mai complexă, pierde caracterele simplității și frumuseții vechi, se pierde în complicații, în ipoteze suplimentare din ce în ce mai numeroase, devine un instrument de gîndire din ce în ce mai greoi. Tragerea de noi concluzii devine din ce în ce mai dificilă. Fertilitatea și vitalitatea ei scad. Abia mai este în stare să urmeze faptele noi și cu timpul își pierde marile sale ambiții de a prevedea fapte noi. Aceste caracteristici ale marasmului senil apar cu timpul în mod din ce în ce mai evident, necesitatea transformării teoriei devine cu timpul mai clară. În felul acesta se pregătește terenul pentru o nouă revoluție a ideilor.

Acest sfîrșit inevitabil așteaptă fără îndoială orice teorie, orice idee nouă. Teoria definitivă, invariabilă, capabilă să explice toate fenomenele, ar fi în starea actuală a științei o ficțiune obscură și greșită, produs al unei minți care nu-și dă seama de bogăția și complexitatea infinită a realității.

Dar alături de această moarte naturală, există de asemenea și cataclisme: nepotrivirea de fond dintre teorie și experiență, care e descoperită pe neașteptate, eșecul oricăror încercări de a explica acea nepotrivire, cîteodată chiar o contradicție internă, care constă în faptul că pentru explicarea diferitelor fenomene ne folosim de ipoteze diferite, care se contrazic una pe alta.

După epoca marilor triumfuri ale teoriei lui Bohr, începem să întrezărim (dincolo de ceața primelor succese), caracterele amintite mai sus, care prevestesc sfîrșitul vieții sale trăite din plin. Anul nașterii teoriei lui Bohr este anul 1913. Apare un potop de lucrări legate de această teorie, vine imediat marea ei dezvoltare, mereu se fac descoperiri noi care adîncesc concordanța teoriei cu experiența. După 10 ani apar primele semne de epuizare. Fizicienii își dădeau pe atunci seama că sînt necesare idei mari și noi, care să scoată știința din starea de depresiune. Teoria lui Bohr devine atît de complicată, anchilozată și rigidă, încît încetează de a mai fi un instrument de gîndire nou și rodnic. Dificultățile au apărut pe fondul inerției ei cu atît mai limpezi și mai amenințătoare. Nepotrivirile dintre teorie și experiență deveneau din ce în ce mai evidente. Nu putem

expune aici aceste dificultăţi în mod mai amănunţit. Ne vom reaminti numai pe acelea care sînt legate de domeniul modest al faptelor prezentate în această carte.

Ne amintim că atomul de heliu este format dintr-un nucleu şi doi electroni planetari, care circulă în jurul nucleului şi formează pătura *K*. Pe ce orbite circulă aceşti electroni în jurul nucleului? Ne amintim că am renunţat la prezentarea unui model mai exact al atomului de heliu şi ne-am mărginit numai la constatarea faptului că cei doi electroni formează o structură completă inelară. N-am fost în stare să creăm modelul atomului, care să explice legile liniilor din spectrul său. Problema heliului este problema a trei corpuri (nucleul şi doi electroni) în faţa căreia teoria lui Bohr este cu totul neputincioasă. Am mai amintit despre acţiunea de ionizare pe care o efectuează asupra atomului de heliu un proiectil electronic, expulzînd unul dintre electronii planetari dincolo de sfera de acţiune a atomului. Ar trebui să construim modelul atomului de heliu în aşa fel, încît să putem afla teoretic efectul de ionizare arătat de către experienţă. Totuşi orice încercare în această direcţie dădea greş, dînd neîncetat rezultate neconcordante cu experienţa.

Obiecţia următoare adusă teoriei lui Bohr este mai mult de ordin general. Ea se referă la probleme de care am mai pomenit (pag. 92-96). Noi ştim că teoria lui Bohr constituie un amestec ciudat de ipoteze aparţinînd mecanicii clasice şi de ipoteze cuantice (care le contrazic pe cele dintîi). Nucleul atrage electronul cu o forţă care respectă legea lui Coulomb şi-l sileşte să circule pe o orbită eliptică. Iată imaginea bazată în întregime pe legile mecanicii clasice, care guvernează un sistem planetar. La această imagine adăugăm cîteva ipoteze cuantice despre orbitele permise şi cele interzise, despre orbite staţionare, despre emisia fotonilor cînd electronii planetari cad spre nucleu. Cînd trecem la calcularea intensităţii liniilor spectrului, deci la probleme care se referă la un număr foarte mare de atomi, la probleme statistice, ne folosim iarăşi de fizica clasică. În microfizică se şterge graniţa dintre domeniul în care aplicăm teoria cuantelor şi domeniul în care este valabilă mecanica clasică. Nu înţelegem de loc de ce menţinem unele dintre principiile fizicii clasice, şi excludem altele.

Din aceste îndoieli și obiecții a luat naștere o mecanică nouă, mecanica cuantică. Dar ar fi nedrept și nejustificat să credem că știința de astăzi respinge teoria lui Bohr. Metodele de gîndire au devenit foarte subtile și au fost extraordinar de mult adîncite de noua mecanică cuantică; dar această mecanică cuantică constituie numai o linie de dezvoltare ulterioară a teoriei lui Bohr. Este greu să apreciem dacă avem de-a face cu fenomenul evoluției sau revoluției concepțiilor. În trecerea de la teoria lui Bohr la mecanica clasică, noi observăm ambii factori de dezvoltare. De la ideile pe care teoria lui Bohr le-a adus în știință, nu există revenire către fizica clasică. Mecanica cuantică este numai dezvoltarea și adîncirea bazelor vechii teorii cuantice.

Mecanica cuantică a deschis un capitol nou și mare al fizicii. Ea a inițiat perioada unei dezvoltări intense și uriașe a științei, încă necunoscută în istoria gîndirii umane. Rezultatele obținute în această perioadă a științei au schimbat fundamental concepțiile noastre despre fenomenele din lumea atomului. Și totuși, în ciuda dezvoltării nemaipomenit de intense a teoriei și în ciuda succeselor ei uriașe așteptăm acum cu nerăbdare apariția unor idei și mai mari. Se observă clar fisurile și crăpăturile prevestitoare ale prăbușirii teoriilor vechi și ale nașterii ideilor noi.

Dezvoltarea mecanicii cuantice a dovedit necesitatea trecerii pe alte făgașuri cu totul noi de gîndire în teoria structurii materiei. Renunțăm la imagini și modele concrete, dăm teoriilor un caracter din ce în ce mai abstract. Înțelegem neputința concepțiilor macrofizice aplicate la lumea din interiorul atomului, înlocuim modelele plastice cu modelele matematice. Am adîncit cunoștințele noastre, totuși realitatea a devenit pentru noi mai bogată în fenomene de neînțeles și în enigme neliniștitoare.

Caracterul abstract al mecanicii cuantice, instrumentul ei matematic extraordinar de fin, face ca pînă și în descrierea ideilor conducătoare să fim siliți să procedăm fugitiv, generalizînd și să fim și mai nebuloși decît pe paginile precedente ale acestei cărți.

Ce nume sînt legate de istoria dezvoltării mecanicii cuantice? Cităm patru nume de personalități, dintre cele mai eminente. Acestea sînt: savantul francez Louis de

Broglie, doi savanţi germani: W. Heisenberg şi E. Schrödinger şi savantul englez P.A.M. Dirac.

Pe urmele lui de Broglie

În cele spuse înainte am făcut cunoştinţă cu fenomenul difracţiei luminii. Un fascicul de raze de lumină trecînd prin deschideri foarte mici sau pe lîngă obstacole foarte mici, nu dă o umbră precis conturată. Razele de lumină se abat, pe ecran apar benzi. În aceste fenomene lumina îşi trădează natura sa ondulatorie. Admitem că lumina este o undă, care se propagă cu o anumită viteză determinată. Am făcut cunoştinţă de asemenea cu unele fenomene, care nu pot fi înţelese pe baza teoriei ondulatorii. În ele lumina trădează natura sa corpusculară. Putem explica efectul fotoelectric, efectul lui Compton şi al lui Raman, dacă presupunem că lumina este asemănătoare cu un roi de proiectile de o anumită energie bine precizată.

Înţelegerea acestui aspect dublu al luminii care ne prezintă cînd o faţă, cînd alta, este o realizare nouă şi mare a ştiinţei. Sîntem (să folosim iarăşi comparaţia dată anterior) ca acei spectatori, unul surd şi altul orb, în cursul prezentării unui film sonor. Amîndoi cunosc numai cîte o singură latură a fenomenului. Concomitenţa fenomenelor rămîne pentru ei o enigmă de nepătruns.

Fenomenul difracţiei poate fi observat de noi numai la obstacole şi deschideri mici. La corpurile întîlnite în viaţa de toate zilele observăm apariţia umbrei tocmai datorită dimensiunilor mici a undei luminoase. Obţinerea fenomenului de difracţie la razele Roentgen este şi mai grea. Reţeaua de difracţie constituie pentru razele Roentgen o serie de deschideri uriaşe care dau fenomenul pronunţat al umbrei şi nu prezintă efectul difracţiei. Abia reţeaua cristalină, în care distanţele dintre atomi sînt de ordinul sutimilor de milionimi dintr-un centimetru, ne dezvăluie natura ondulatorie a razelor Roentgen. Dar atunci cînd dorim să scoatem în evidenţă natura ondulatorie a razelor gamma, nu ne mai ajută nici reţeaua cristalină.

Caracterul ondulatoriu al radiaţiilor se şterge pe măsura trecerii la undele din ce în ce mai scurte. Obţinerea fenomenului difracţiei şi cu acesta descoperirea naturii ondulatorii

a radiaţiilor devine din ce în ce mai grea. Cu cît unda e mai lungă, cu atît caracterul ondulatoriu al radiaţiilor apare mai clar şi mai precis. Cel mai clar apare la undele electromagnetice lungi, la care fenomenul umbrei dispare, iar pe primul plan apare fenomenul difracţiei.

Cu totul diferit se prezintă problema caracterului corpuscular al radiaţiilor. Am comparat fotonii razelor infraroşii cu nişte bile de vată. Fotonii razelor Roentgen, în comparaţie cu fotonii razelor infraroşii, sînt ca obuzele grele ale artileriei. Energia fotonilor este cu atît mai mare, cu cît lungimea de undă este mai mică. Proiectilele fotonice manifestă existenţa lor cu atît mai clar şi mai frapant, cu cît transportă mai multă energie. Cînd trecem prin urmare la undele foarte lungi, de exemplu la cele de radio, vedem că ele devin din ce în ce mai sărace în energie şi încetează treptat de a mai putea fi simţite. Înţelegem deci din ce cauză efectele care indică structura corpusculară a radiaţiilor apar numai în radiaţiile *dure*. Efectul fotoelectric *nu există în cuprinsul undelor infraroşii*. Proiectilele lor fotonice slabe şi uşoare nu sînt capabile să smulgă electroni din metal. De asemenea şi efectele Compton şi Raman dispar în domeniul radiaţiilor infraroşii. Cu cît ne deplasăm mai mult spre undele scurte, cu atît mai mult se şterge caracterul ondulatoriu al radiaţiilor şi cu atît mai clar apare aspectul lor corpuscular. El se şterge şi dispare cînd trecem la undele din ce în ce mai lungi, la care aspectul ondulatoriu joacă un rol din ce în ce mai dominant. Totul se petrece ca şi în exemplul cu filmul sonor în care apare cînd latura sonoră, cînd cea vizuală, cu toate că amîndouă coexistă simultan.

Constatarea că radiaţiile prezintă două aspecte diferite, sau două feţe diferite, constituie un mare pas înainte în cunoaşterea legilor care conduc aceste radiaţii. Progresul realizat astfel constă în crearea unei metode noi de gîndire care trece dincolo de cadrele unui singur capitol al ştiinţei. De Broglie a fost primul care a înţeles că acest dualism în conceperea radiaţiilor poate fi transpus într-un domeniu nou al fenomenelor, în domeniul legilor care stau la baza structurii materiei.

Să ne închipuim un roi de electroni sau de protoni, zburînd în linie dreaptă cu o mişcare perfect uniformă. Sînt cunoscute acum metodele experimentale cu ajutorul

cărora putem să realizăm un fascicul de electroni sau de protoni care se mişcă uniform. La fel ca şi la fotonii unei radiaţii omogene, obervăm şi aici la electroni fenomenul *corpuscular*, adică un roi de proiectile cu energie bine determinată. Această energie creşte cînd creşte viteza proiectilelor electronice.

S-ar părea că electronii sau protonii prezintă numai un singur aspect: *cel corpuscular*. Nu există oare fenomene în care roiul electronilor se comportă ca un fascicul de unde cu o anumită lungime? Este posibil că aspectul lor ondulatoriu n-a ieşit încă la iveală, fiind tot atît de greu de descoperit ca şi aspectul ondulatoriu în cazul undelor foarte scurte, de exemplu în cazul razelor Roentgen.

De Broglie a fost primul care a întrevăzut *dualismul corpuscular-ondulatoriu*, existent în lumea particulelor elementare din structura materiei. Acest dualism stă la baza continuării raţionamentelor sale care, după cum vom vedea, şi-au găsit pe neaşteptate confirmarea în rezultatele experienţelor.

Lucrările lui de Broglie, publicate în anul 1924, excelează prin prospeţimea ideilor şi simplitatea argumentării. Aceste lucrări arată clar că pînă şi în vremea în care aparatul matematic devine foarte complicat atunci cînd este întrebuinţat ca instrument de gîndire în fizică, sînt posibile idei excelente şi simple, care nu cer erudiţie seacă ci înainte de toate o imaginaţie ştiinţifică creatoare. Lucrările lui de Broglie n-au trezit un ecou prea puternic; ele erau privite drept opera superficială a unui diletant. De-abia Einstein a atras pentru prima oară atenţia asupra lor prevăzînd că dezvoltarea viitoare a ştiinţei va confirma ideile formulate de către de Broglie.

Vom prezenta ideea conducătoare a gîndirii lui de Broglie şi concluziile care rezultă din ea pentru fizică.

Ştim că de Broglie introduce dualismul (conceput la fenomenul radiaţiilor) în domeniul legilor care conduc materia cunoscută pînă acum sub forma corpusculelor (pentru simplitate o vom numi de aci înainte pur şi simplu materie). Să amintim încă o dată ecuaţia de bază care leagă energia fotonului de lungimea de undă:

$$\textit{energia fotonului} = \frac{\textit{constanta lui Planck} \times \textit{viteza luminii}}{\textit{lungimea de undă}}$$

Electronul (sau altă particulă materială) reprezintă o anumită energie. Din punctul de vedere la teoriei ondulatorii, nu avem de-a face cu mişcarea electronului, ci cu o undă de materie care se propagă, numită *unda lui de Broglie.*

Un raport analog cu cel scris mai sus va fi introdus acum în domeniul undelor materiei:

energia particulei (de exemplu a electronului) =

$$= \frac{\textit{constanta lui Planck} \times \textit{viteza undei lui de Broglie}}{\textit{lungimea undei lui de Broglie}}$$

Să analizăm mai de aproape fiecare termen al acestei ecuaţii. Energia particulei din partea stîngă a ecuaţiei este o noţiune corpusculară. Putem să atribuim oricărui corp a cărui viteză şi masă le cunoaştem, o anumită mărime care exprimă energia lui. Ştim că în cazul cel mai simplu, cînd electronul se află în repaus, energia acestuia (exprimată în ergi) este:

$$\textit{energia electronului} = \textit{masa electronului} \times (\textit{viteza luminii})^2$$

Electronul în mişcare posedă o energie mai mare. Teoria relativităţii ne permite să exprimăm energia în mod simplu în funcţie de masa de repaus şi de viteză. Partea stîngă a ecuaţiei lui de Broglie este prin urmare cunoscută de noi. La dreapta găsim o mărime care nu cere nici o explicaţie; aceasta este constanta lui Planck. Alături de ea apar în această ecuaţie două mărimi necunoscute. Prima este lungimea undei lui de Broglie, a doua este viteza acesteia. Pe baza ecuaţiei scrise mai sus nu putem calcula cele două mărimi. Dacă am avea anumite date care ne-ar permite să calculăm viteza undei lui de Broglie, am putea deduce lungimea acestei unde din ecuaţia scrisă mai sus. Trecem aici cu vederea argumentaţia cu ajutorul căreia de Broglie deduce această viteză de propagare a undei. Vom spune aici numai atît, că viteza de propagare a undei nu este egală nici cu viteza de propagare a luminii, nici cu viteza particulei materiale. Ea depinde însă de aceste două viteze împreună (a luminii şi a particulei). Cu cît *viteza particulei este mai mare cu atît este mai mică viteza de propagare a undei.*

Viteza undei lui de Broglie este independentă de masa corpului şi invers proporţională cu viteza lui. Aici dispare analogia cu radiaţiile. Viteza de propagare a undei de lumină în vid, ştim că este aceeaşi pentru toate culorile (pentru fotonii de orice energie). În schimb viteza undei lui de Broglie depinde de energia particulelor, adică de viteza lor.

Raţionamentele făcute de către de Broglie ne permit deci să calculăm lungimea de undă a materiei. Aici prezentăm direct ultimul rezultat. El exprimă raportul dintre lungimea de undă şi produsul dintre masa şi viteza corpusculului respectiv (de exemplu a electronului), deci între acele valori, care le caracterizează din punct de vedere corpuscular, în modul următor:

$$\textit{lungimea de undă} = \frac{\textit{constanta lui Planck}}{\textit{masa} \times \textit{viteza particulei.}}$$

Prin urmare şi în cazul materiei putem îngloba aspectul ondulatoriu în aspectul corpuscular! La fel ca şi înainte (pag. 53) putem şi acum să trecem de la terminologia corpusculară la terminologia ondulatorie. Cităm cîteva propoziţii pentru exemplificare:

Terminologia corpusculară	*Terminologia ondulatorie*
1) Un roi de electroni se deplasează cu aceeaşi viteză.	1) Unda electronică prezintă o anumită lungime de undă bine precizată (formează un fascicul omogen).
2) Dublăm viteza electronilor.	2) Micşorăm de două ori lungimea undei electronice.
3) Protonul în mişcare are o masă de 1 836 ori mai mare decît masa electronului cu aceeaşi viteză.	3) Unda protonică, care se deplasează cu aceeaşi viteză ca unda electronică, are lungimea de undă de 1836 ori mai mică decît cea electronică.

Raţionamentele lui de Broglie au oare vreun sens în fizică? Rezultă din ele vreo concluzie care ar putea găsi eventual o confirmare experimentală? Există oare fenomene uşor de înţeles din punctul de vedere al teoriei ondulatorii a materiei, care să fie în contradicţie cu aspectul ei corpuscular?

Cităm pentru exemplificare un calcul simplu. Să presupunem că un roi de electroni se deplasează cu o viteză aproximativ de zece ori mai mică decît viteza luminii, viteza electronilor fiind deci de circa 30 000 km/s. Ca să găsim în cazul acesta lungimea de undă (exprimată în centimetri), trebuie să împărţim constanta lui Planck la produsul dintre masa electronului şi viteza dată (exprimată în centimetri pe secundă). După efectuarea unor calcule foarte simple, citate într-un capitol precedent (pag. 90) vom obţine pentru

lungimea undei electronice corespunzătoare electronilor ce se mişcă cu viteza de 1/10 din viteza luminii, valoarea de 0,2 Å. Lungimile undelor electronice sînt în genere de acelaşi ordin ca şi lungimile de undă ale razelor Roentgen. Putem deci pune alături de razele omogene Roentgen, unda electronică cu aceeaşi lungime. Ne dăm seama totuşi — pe baza observaţiilor anterioare — că între unda materiei (unda lui de Broglie) şi unda de lumină există diferenţe esenţiale. Dacă am înlocui electronii cu protonii, care se mişcă cu aceeaşi viteză de 30 000 km/s, am avea de-a face cu o undă de 1 836 ori mai scurtă, adică cu o undă cu o lungime de aproximativ 0,0001 Å.

Observaţiile făcute aici ne sugerează o idee nouă. Iată, am putea stabili natura ondulatorie a particulelor cu ajutorul experienţei. Să ne închipuim că avem un fascicul de electroni, care posedă o viteză uniformă bine stabilită, adică (trecînd la terminologia ondulatorie) o undă electronică omogenă. Unda electronică, cade asupra unui cristal foarte subţire, care joacă rolul unei reţele de difracţie. Distanţele între obstacolele care determină difracţia într-o reţea cristalină sînt atît de mici, încît ne putem aştepta la fenomenul difracţiei atît în cazul razelor Roentgen cît şi în cazul undei electronice, deoarece ştim că în ambele cazuri avem de-a face cu lungimi de undă de acelaşi ordin. Făcînd această experienţă vom obţine pe placa fotografică imaginea difracţiei apărută în urma trecerii undei electronice printr-un strat fin al cristalului. Acest rezultat obţinut pe cale experimentală este fără îndoială unul dintre cele mai frumoase şi cele mai interesante rezultate obţinute prin colaborarea teoriei cu experienţa.

Savanţii americani Davisson şi Germer au meritul de a fi constatat cei dintîi (în 1927), pe cale experimentală aspectul ondulatoriu al materiei corpusculare. Aceste experienţe au fost mai tîrziu repetate în multe rînduri pentru viteze diferite ale electronilor (diferite lungimi de undă). În toate cazurile s-a găsit că imaginile undei electronice difractate corespundeau exact prevederilor teoriei. În fig. 27 şi 28 sînt prezentate fotografiile care arată fenomenul difracţiei electronilor. Se vede clar mai ales asemănarea între fig. 28 (difracţia undei electronice) şi fig. 24 (difracţia undei Roentgen). Ştim însă că în cazul razelor Roentgen putem

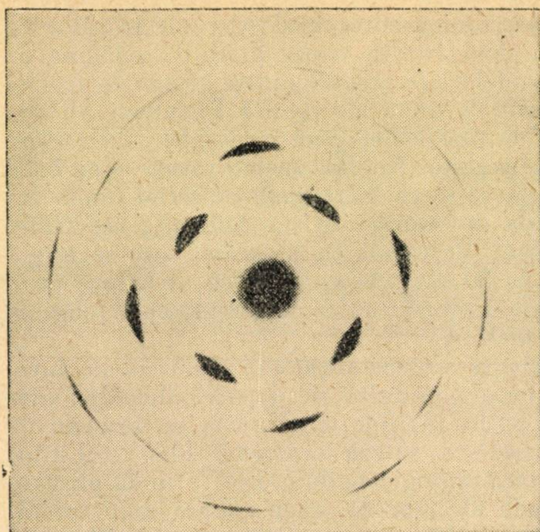


Fig. 27 Fotografia undelor electronice difractate de un cristal

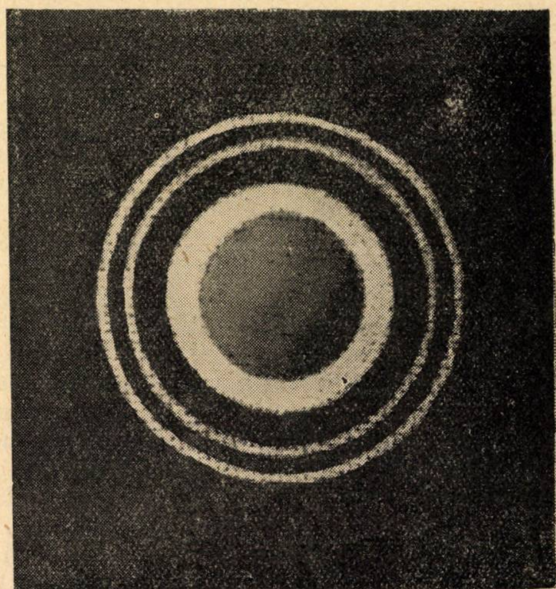


Fig. 28 Fotografia undelor electronice difractate de un cristal.

deduce lungimile de undă din astfel de fotografii. Analog şi din imaginea difracţiei undelor electronice putem afla lungimea undei respective. Putem deci constata cu ajutorul experienţei dacă relaţia fundamentală:

$$\textit{lungimea de undă} = \frac{\textit{constanta lui Planck}}{\textit{masa} \times \textit{viteza electronului}}$$

a lui de Broglie este satisfăcută. Partea stîngă a acestei relaţii o găsim pe baza imaginii de difracţie. Cunoaştem pe de altă parte atît constanta lui Planck cît şi viteza electronului. Putem imprima vitezelor electronilor orice valoare dorită (cu condiţia să fie mai mică decît viteza luminii), făcînd să acţioneze asupra lor cîmpuri electrice acceleratoare. Obţinem astfel toate valorile necesare pentru stabilirea relaţiei care dă lungimea de undă şi putem verifica dacă datele experienţei satisfac această ecuaţie. Experienţa confirmă pe deplin previziunile teoriei atît pentru electroni cît şi pentru protoni şi alte particule materiale.

Am făcut cunoştinţă cu fenomenul în care particulele materiale trădează aspectul lor ondulatoriu. Am lărgit astfel cadrul cunoştinţelor noastre. Atît în fenomenele care stau la baza radiaţiilor, cît şi în acele fenomene în care apar particule, distingem două aspecte: aspectul corpuscular şi aspectul ondulatoriu.

Pe urmele lui Schrödinger

Premisele teoriei lui de Broglie sînt extraordinar de simple. Totuşi domeniul faptelor descrise de această teorie este foarte restrîns. Concluziile ei se limitează aproape exclusiv la problema mişcării uniforme a electronilor. Nu observăm legătura mai intimă a teoriei lui de Broglie cu problema structurii materiei. Existenţa undelor electronice nu infirmă concluziile teoriei lui Bohr. Lucrările lui *Schrödinger* constituie un gigantic pas înainte, ele constituie o adîncire foarte profundă a ideii lui de Broglie, modifică esenţial concepţia noastră despre structura materiei.

Mecanica ondulatorie creată de Schrödinger lărgeşte enorm cadrul faptelor luate în considerare de către de Broglie. Renunţăm la ipoteza stingheritoare şi particulară după care electronul ar fi liber şi s-ar mişca uniform. Meca-

nica ondulatorie ne va permite să cercetăm mişcarea electronului în orice cîmp electric şi magnetic. Dar ea fiind totodată moştenitoarea teoriei lui Bohr, explică frumos şi unitar toate acele fapte, care mai înainte îşi găsiseră explicaţia în cadrul teoriei lui Bohr. Pe lîngă aceasta, ea pătrunde mai adînc în esenţa cunoştinţelor noastre. Mecanica ondulatorie doboară obiecţiuni aduse înainte teoriei lui Bohr. Mecanica ondulatorie cuprinde pe lîngă aceasta şi concluziile lui de Broglie. Difracţia undelor electronice, legătura dintre lungimea de undă şi viteza electronului, rezultă de asemenea din mecanica ondulatorie, ca cel mai elementar caz limită, în care dispare cîmpul extern electric sau magnetic care acţionează asupra electronului.

Care este ideea de bază a teoriei lui Schrödinger? Ca să putem răspunde la această întrebare, trebuie să ne adresăm unui alt capitol al fizicii şi anume opticii. Dar să ne gîndim la acea formă a opticii pe care ne-a transmis-o secolul al XIX-lea. Pe atunci încă nu erau cunoscute acele fapte în care lumina îşi dezvăluia caracterul corpuscular. Fenomenele de radiaţie erau considerate pe atunci numai sub aspectul ondulatoriu. Fenomenul difracţiei (şi o serie de alte fenomene, pe care nu le pomenim aici), sprijinea acea teorie a luminii care considera radiaţia ca o propagare a undelor electromagnetice. În manualele de optică teoretică găsim aproape întotdeauna un capitol introductiv: *optica geometrică*.

Pentru explicarea multor fenomene simple din domeniul opticii ne putem lipsi de aparatul matematic al *opticii fizice*, adică de teoria ondulatorie a luminii. Putem afla cu aproximaţie destul de mare, pe baza legilor opticii geometrice, fenomenele umbrei, drumurile parcurse de razele de lumină în medii neomogene etc.

Să cităm una dintre legile fundamentale ale celui mai simplu capitol al opticii, aşa-numitul principiu al lui *Fermat*. Să presupunem că raza de lumină trece prin două puncte ale spaţiului, pe care le însemnăm cu A şi B. Care este drumul razei de lumină între aceste puncte? Cînd între A şi B se află un mediu omogen, răspunsul este foarte simplu: drumul este o linie dreaptă. Care va fi însă forma drumului în cazul general, cînd între A şi B există o serie de medii transparente diferite, sau cînd mediul considerat îşi schimbă densitatea în mod continuu, astfel că viteza de

propagare a luminii este diferită în fiecare punct? Răspunsul va fi următorul: raza de lumină alege un astfel de drum, încît să străbată distanța de la *A* la *B* în *timpul minim*. Dintre toate drumurile posibile, raza de lumină alege tocmai pe acela care îndeplinește condiția de mai sus. Raza este asemenea unui curier care caută să ajungă la locul de destinație în timpul cel mai scurt. Ea își deviază drumul dacă prin aceasta scurtează timpul parcursului.

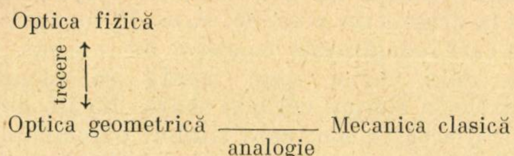
Legile opticii geometrice sînt mai simple decît legile opticii fizice. Dar aceste două capitole ale științei nu sînt independente unul de altul. Premisele opticii fizice sînt mai generale. Ecuațiile opticii geometrice rezultă din ecuațiile opticii fizice, ca niște cazuri limită.

Cu cît lungimea de undă este mai mică, deci cu cît radiațiile sînt mai dure, cu atît mai mici sînt diferențele între optica geometrică și cea fizică. Optica geometrică este un caz limită al opticii fizice, principiile ei sînt satisfăcute cu atît mai bine, cu cît lungimea de undă a radiației este mai mică. Presupunînd deci că lungimea de undă a radiației cercetate devine din ce în ce mai mică, trecem de la legile opticii fizice la legile opticii geometrice. Optica geometrică este astfel prima aproximație a legilor care stau la baza fenomenelor radiației, aproximație realizată cu atît mai precis, cu cît lungimea de undă a radiației respective este mai mică.

Să trecem la *mecanica clasică*. Domeniul faptelor descrise diferă esențial de domeniul fenomenelor optice. Și totuși *Hamilton* a descoperit încă în secolul al XIX-lea *analogia formală între optica geometrică și mecanica clasică*. În fizică întîlnim adeseori metode de gîndire analoge în domenii cît se poate de diferite. La fel constatăm și aici acea asemănare formală în diferite domenii ale fenomenelor.

Să ne închipuim un corp oarecare într-un cîmp gravitațional al altui corp (de exemplu, o planetă în cîmpul gravitațional al soarelui). Acest corp trece prin două puncte *A* și *B*. Ne întrebăm care este drumul parcurs de acest corp? Din principiile mecanicii clasice rezultă că dintre toate drumurile posibile, corpul alege pe acela pentru care o anumită mărime (nu o vom arăta aici) are valoarea minimă. Observăm aici analogia între acest principiu al mecanicii clasice și principiul lui Fermat.

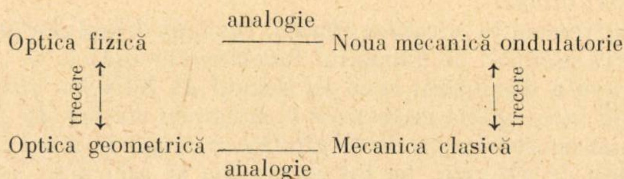
Raportul de reciprocitate între optica geometrică, optica fizică şi mecanica clasică, se poate prezenta schematic în felul următor:



Linia orizontală arată aici analogia formală. Linia verticală arată posibilitatea de trecere de la legile opticii fizice la legile opticii geometrice (cînd lungimea undei devine infinit mică).

Putem acum răspunde la întrebarea formulată mai înainte: în ce constă ideea fundamentală a teoriei lui Schrödinger? Schrödinger a înţeles că, aşa cum optica geometrică este numai o aproximaţie a opticii fizice şi că, aşa cum optica geometrică dă greş în cercetarea fenomenelor difracţiei, la fel şi *mecanica clasică este numai prima aproximaţie a mecanicii noi, ondulatorii, aproximaţie satisfăcătoare în descrierea fenomenelor macrofizice, dar insuficientă şi înşelătoare în fenomenele microfizice, în lumea din interiorul atomului.*

Schema dată mai sus trebuie deci completată în felul următor:



Lumea din interiorul atomilor şi moleculelor este condusă de noua mecanică ondulatorie. Schrödinger găseşte trecerea de la mecanica clasică la noua mecanică ondulatorie, condus de analogia trecerii de la legile opticii geometrice la legile opticii fizice.

Am amintit mai sus că mecanica ondulatorie cuprinde un domeniu de fapte îmbrăţişat înainte de teoria lui Bohr. Ca să concretizăm această idee, să ne gîndim la o problemă, simplă, anume la atomul de hidrogen. În ce fel soluţionează

noua mecanică ondulatorie problema liniilor spectrale ale hidrogenului?

În cîmpul nucleului de hidrogen (adică al protonului) se află un electron. Atracția dintre aceste corpuscule este în conformitate cu legea lui Coulomb, asemănătoare formal cu legea gravitației universale. *Formulăm deci problema în termenii fizicii clasice.* Acesta este *primul pas.* Pasul *următor* constă în trecerea de la această problemă clasică la problema corespunzătoare din mecanica ondulatorie. Procedeul acesta se efectuează după un plan uniform, stabilit dinainte, și lipsit de orice caracter arbitrar și de neînțelegere, caracteristic teoriei lui Bohr. Schrödinger dă o metodă uniformă, care permite să se formuleze imediat o problemă a mecanicii ondulatorii, dacă ea a fost exprimată mai înainte în termenii mecanicii clasice. Aici dispar greutățile legate de orbitele cuantice, de salturile electronilor de pe o orbită pe alta. Teoria cuantelor pătrunde și în mecanica ondulatorie a lui Schrödinger, dar într-un mod cu totul deosebit decît în teoria lui Bohr. Ea intervine în regula de trecere de la mecanica clasică la mecanica ondulatorie. *Trecerea se face cu ajutorul constantei h a lui Planck.* Teoria cuantelor pătrunde aici prin intermediul regulii de trecere de la ecuațiile clasice la ecuațiile noi. În felul acesta obținem formularea problemei în termenii mecanicii ondulatorii.

Pasul al treilea și ultimul este soluționarea problemei ondulatorii în cazul special considerat, de exemplu în cazul hidrogenului. Ce înțelegem prin soluționarea problemei ondulatorii? Observațiile referitoare la această problemă vor fi de ordin general și oarecum confuze. Dacă vom afirma că „problema constă în soluționarea unei ecuații diferențiale de gradul doi, fiind date condițiile la limită“ noi am formulat, pentru necunoscătorii matematicii, o propoziție care nu le spune nimic. Totuși nu putem prezenta această propoziție într-o formă mai accesibilă. Ne vom mulțumi numai cu constatarea faptului că problema mecanicii ondulatorii constă în deducerea din ecuațiile ei (analoge cu ecuațiile opticii fizice) a unor funcții, pe care le vom numi *funcțiile lui Schrödinger.* Ajungem astfel la punctul esențial. Problema ondulatorie respectivă (pentru hidrogen), care constă în aflarea funcțiilor lui Schrödinger corespunzătoare, nu poate fi soluționată întotdeauna. Funcțiile lui Schrödinger

căutate de noi există numai atunci, cînd *energia electronului* are anumite *valori determinate*. Obţinem astfel, pe cale pur formală, numai din *condiţia existenţei soluţiilor pentru problema hidrogenului*, formulată de mecanica ondulatorie,

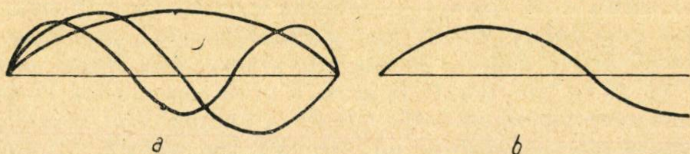


Fig. 29 Vibraţiile unei corzi:
a — permise *b* — nepermise

aceleaşi niveluri de energie pe care le obţine Bohr în modelul atomului său, pe o cale cu totul deosebită. La fel ca la Bohr, şi aici nu orice nivel de energie este permis (ca în mecanica clasică) ci numai anumite niveluri şi anume acelea pe care le-am prezentat în fig. 6. Mecanica ondulatorie ajunge la aceleaşi concluzii ca şi teoria lui Bohr. Este adevărat că drumul duce aici prin raţionamente matematice mai grele, dar generale şi frumoase, lipsite de orice caracter arbitrar, caracteristic teoriei lui Bohr. Teoria lui Schrödinger explică la fel ca şi teoria lui Bohr, regula liniilor hidrogenului.

Apariţia în mecanica ondulatorie numai a anumitor niveluri de energie determinate, o putem înţelege mai uşor folosind o analogie din mecanica clasică. Să ne închipuim o coardă, la care ambele capete sînt fixate. Dacă vom excita această coardă, ea nu va putea produce orice fel de vibraţie. Capetele corzii nu se pot mişca, deci vor apărea numai acele vibraţii, care vor permite capetelor să rămînă nemişcate. Unele din aceste vibraţii sînt prezentate în fig. 29 *a*. Nu poate să apară însă o vibraţie ca aceea pe care o vedem în fig. 29 *b*, care determină mişcarea unuia dintre capetele corzii.

Prin analogie cu acest fenomen, unui electron planetar în mişcare în atom îi corespunde o undă proprie a lui de Broglie de o anumită lungime şi electronul poate circula numai pe o astfel de orbită, în lungimea căreia lungimea de undă proprie electronului se va cuprinde de un număr întreg de ori (multiplu întreg). Aceasta este *orbita permisă* (fig. 30 *a*). Dacă am considera însă o orbită de-a lungul

căreia lungimea de undă proprie electronului nu se va cuprinde de un număr întreg de ori (fig. 30 *b*), o astfel de orbită va *fi interzisă*. Am văzut că tocmai *orbitele lui Bohr* sînt acelea care corespund condiției de mai sus pentru orbi-

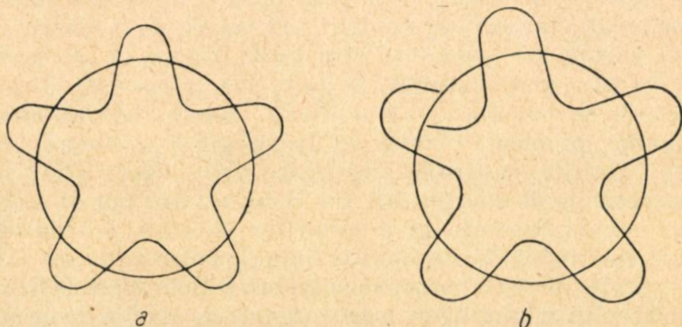


Fig. 30 Legătura dintre lungimea undei electronice (de Broglie) și orbitele lui Bohr:
a — orbita permisă. *b* — orbita interzisă

tele permise. În lungimea acestor orbite, lungimea de undă de Broglie care însoțește electronul în mișcarea sa în atom se cuprinde precis de un număr întreg de ori.

Metodele de gîndire ale mecanicii ondulatorii prezentate aici trec firește dincolo de exemplul hidrogenului, pe care l-am dat aici numai pentru concretizarea problemei. Teoria lui Schrödinger nu numai că pătrunde mai adînc decît teoria lui Bohr, dar îmbrățișează și un domeniu mai vast de fapte.

Amintim aici că teoria lui Bohr a construit un model al atomului de hidrogen din care rezultau legile ce stăteau la baza liniilor spectrale ale acestui element. Am sezisat și înainte încă o problemă. Unele dintre aceste linii sînt mai intense, altele mai slabe, adică intensitatea lor variază. Folosind terminologia lui Bohr, vom spune că linia are o intensitate cu atît mai mare, cu cît numărul atomilor în care se produc salturile electronice corespunzătoare liniei, este mai mare. La înțelegerea legilor care stau la baza intensității diferitelor linii ajungem prin considerații *statistice*. Gazul este compus dintr-un număr uriaș de atomi: Bohr a descoperit legile, care conduc fiecare din aceste microcos-

mosuri. Pasul următor, care conduce la macrofizică, la intensitățile diferitelor linii, cere un mod de gîndire deosebit, modul de gîndire statistic. Explicarea intensității diferitelor linii se bazează pe ipoteze noi, suplimentare: ea nu este legată organic de problema structurii însăși a atomului. Caracterul (statistic) al gîndirii, era diferit de acela cu ajutorul căruia am cunoscut structura internă a atomului. În mecanica ondulatorie problema intensității liniilor spectrale se prezintă cu totul diferit. Aceste două probleme, și anume: problema nivelurilor de energie și problema intensității liniilor spectrale, sînt legate strîns una de alta. Știm că nivelurile de energie ale lui Bohr rezultă pur și simplu din condiția de existență a soluțiilor ecuației Schrödinger. Funcțiile lui Schrödinger există numai pentru anumite valori ale energiei cărora le corespund nivelurile Bohr. Ce sens fizic au funcțiile lui Schrödinger, legate organic de nivelurile de energie permise? Iată: cunoașterea acestor funcții ne va face posibilă ducerea la bun sfîrșit a raționamentelor statistice și *deducerea intensității* diferitelor linii spectrale. Funcțiile lui Schrödinger caracterizează legile care conduc mulțimile uriașe de particule atomice. Înțelegem deci că noua teorie explică mai amplu, mai simplu, mai consecvent, legile care stau la baza diferitelor linii spectrale. Esențialul este că, concluziile acestei teorii (bazată pe cunoașterea funcțiilor lui Schrödinger) nu se referă la atomii izolați ci *la grupările lor*. Despre un atom izolat nu putem spune nimic, dar cunoașterea funcțiilor lui Schrödinger ne va permite să găsim un răspuns la toate întrebările formulate judicios, dacă se referă la un număr mare de atomi. *Noua mecanică ondulatorie prezintă deci un caracter statistic*!

Să mai amintim aici pe scurt un caz mai simplu decît problema atomului de hidrogen, și anume problema *electronului liber*. În concordanță cu teoria lui Schrödinger, trebuie să formulăm problema mai întîi în termenii mecanicii clasice, iar apoi cu ajutorul relației date (în care figurează constanta lui Planck), să trecem la formularea problemei în termenii mecanicii ondulatorii. Funcția lui Schrödinger reprezintă în cazul acesta o undă cu următoarea lungime:

$$\textit{lungimea de undă} = \frac{\textit{constanta lui Planck}}{\textit{masa electronului} \times \textit{viteza electronului}}$$

Or, această formulă ne este bine cunoscută. Ea coincide cu formula aflată de către de Broglie pe altă cale. Problema analizată de către de Broglie apare în teoria lui Schrödinger ca cel mai simplu caz particular.

Să ne îndreptăm iarăşi atenţia asupra expresiei pentru lungimea undei electronice. La numărător apare o mărime extrem de mică: constanta lui Planck. Fizica clasică pornind de la premisa continuităţii energiei presupune cu aceasta, că mărimea *h* este egală cu zero. Cînd în formula noastră *h* tinde către zero, atunci şi lungimea de undă devenind din ce în ce mai mică, tinde către zero. În domeniul fizicii clasice, caracterul ondulatoriu al materiei dispare; se observă o analogie cu trecerea de la optica fizică la cea geometrică, atunci cînd lungimea de undă a razei de lumină tinde spre zero.

Pe urmele lui Heisenberg

Prima lucrare a lui Schrödinger cu privire la mecanica ondulatorie a apărut în 1926. Puţin mai devreme Heisenberg a publicat lucrarea sa care conţinea prima schiţă a *noii mecanici cuantice*.

În teoria lui Bohr pornim de la premisa că electronii circulă pe orbite. Vorbim despre *poziţia* electronului într-un anumit moment, de *viteza* şi *orbita* lui, la fel cum am vorbi cercetînd mişcarea unui proiectil în cîmpul de gravitaţie al Pămîntului. Ne este oare permis să folosim noţiunile macrofizicii pentru a descrie structura atomului? Ne putem imagina oare vreo posibilitate de măsurare cu ajutorul căreia să putem stabili *poziţia*, *viteza* şi *orbita* electronului? Ne este oare permis să introducem în ştiinţă mărimi cărora nu le putem atribui valori precise cu ajutorul măsurătorilor? Să ocupăm o poziţie fermă pe terenul solid al faptelor şi să excludem toate afirmaţiile care n-au nimic comun cu observaţiile şi măsurătorile. În fizica nouă a atomului nu pot apărea noţiunile de *poziţie*, *viteză* şi *orbită* a electronului. Ceea ce observăm în liniile spectrului sînt numai lungimile de undă şi intensităţile liniilor spectrale. Acestea sînt noţiunile noastre fizice de bază — afirmă Heisenberg. Noua mecanică cuantică se străduieşte în prima fază a dezvoltării ei, să elimine din ştiinţă orice noţiune care nu este legată

cu stricteţe de datele măsurării şi de observaţii (poziţia şi viteza electronilor) şi ia în considerare numai mărimi care prezintă un sens fizic bine determinat, cum ar fi *lungimile de undă* şi *intensităţile liniilor spectrale*. Mecanica cuantică are un caracter abstract, caută intenţionat să evite orice imagine, nu construieşte nici un model de atom, stabileşte numai relaţii după care orice problemă poate fi formulată în termenii săi. Abia în ultima verigă a raţionamentelor abstracte stabilim legătura între rezultatele teoriei şi experienţă.

În fizica clasică operăm cu diferite mărimi fizice (forţă, energie, masă etc.). În fiecare caz în parte, cu ajutorul măsurării putem să atribuim acestor mărimi anumite valori numerice.

Avem, de exemplu, două mărimi pe care le însemnăm cu literele *a* şi *b*. Ştim că

$a \times b$ *este egal* $b \times a$.

În fizica clasică nu introducem mărimi de alt gen. Totdeauna într-un produs putem schimba cum vrem ordinea factorilor. Nu există oare mărimi care nu îndeplinesc această condiţie, mărimi pentru care

$a \times b$ nu este egal cu $b \times a$?

Matematicienii cunoşteau de mult timp mărimi, la care $a \times b$ diferă de $b \times a$. Dar ele nu găseau aplicare în fizică.

Să introducem pentru simplificare următoarea terminologie:

Mărimile pentru care $a \times b = b \times a$ le vom numi mărimi *c*.
Mărimile pentru care $a \times b \neq b \times a$, le vom numi mărimi *q*.

În fizica clasică ne folosim numai de mărimi *c* în schimb *în noua mecanică cuantică ne folosim de mărimi q*.

Metodele mecanicii cuantice le-am putea caracteriza în mod foarte general şi neprecis în felul următor: Noua mecanică cuantică formulează ecuaţiile sale la fel ca şi fizica clasică. (Ecuaţia pentru un sistem microfizic, cum ar fi un electron în vibraţie, este analogă cu ecuaţia macrofizică a unui punct material în vibraţie). În ce constă însă diferenţa esenţială între ecuaţiile problemei corespunzătoare microfizice? Iată: *În fizica clasică simbolurile în ecuaţii prezintă*

numai mărimi, c în mecanica cuantică ele prezintă (în aceleaşi ecuaţii), *mărimi q*.

Oare în mecanica cuantică intervine teoria cuantelor? Vom arăta în ce fel intervine aici constanta lui Planck. Dacă anume $a \times b$ nu este egal cu $b \times a$, în cazul acesta

$$a \times b - b \times a \text{ nu este egal cu zero!}$$

Cît de mare este această diferenţă? *Ea este proporţională cu constanta h a lui Planck*. Constanta h intervine aici ca un fel de regulă în calcule. Problema formulată de ecuaţiile mecanicii cuantice ar fi nedeterminată din punct de vedere matematic şi nerezolvată, dacă n-am stabili diferenţa dintre $a \times b - b \times a$.

Înţelegem prin urmare că mecanica clasică este un caz limită al noii mecanici cuantice. Presupunînd că $h = 0$, intrăm în mecanica clasică. În cazul acesta dispare diferenţa $a \times b - b \times a$, proporţională cu mărimea h. Mărimile $a \times b$ şi $b \times a$ devin în cazul acesta egale, mărimile q devin mărimi c şi cu aceasta ecuaţiile mecanicii cuantice devin ecuaţiile mecanicii clasice. Mecanica clasică joacă aici rolul unui caz limită la fel ca în mecanica ondulatorie.

Se pun acuma următoarele întrebări: 1) Ce raport există între mecanica cuantică a lui Heisenberg şi mecanica ondulatorie a lui Schrödinger? 2) Ce raport există între mecanica cuantică şi teoria lui Bohr?

Răspunsul la prima întrebare este uimitor de simplu: *ambele dau rezultate identice*. În schimb punctele de plecare ale lui Schrödinger şi ale lui Heisenberg sînt cu totul diferite. Schrödinger introduce analogia dintre optica geometrică şi optica fizică într-un domeniu nou de fenomene. Heisenberg, în schimb, construieşte o schemă rigidă şi abstractă eliberată de orice element intuitiv. Aparatul matematic în ambele cazuri este cu totul diferit. Schrödinger formulează ecuaţii diferenţiale pentru aşa numitele funcţii *ale lui Schrödinger*. În mecanica cuantică a lui Heisenberg apare în schimb un sistem de un număr infinit de ecuaţii algebrice. Şi totuşi ambele teorii în aparenţă atît de diferite, trebuie să ducă la rezultate identice. Schrödinger a fost primul care a dovedit că rezultatele acestor două teorii obţinute pe două căi diferite concordă perfect. Cu aceasta primim răspunsul şi la întrebarea a doua. Mecanica cuantică cuprinde domeniul fapte-

lor asupra cărora se extindea inițial teoria lui Bohr. Dar ea se extinde în plus și asupra acelor probleme, în fața cărora teoria lui Bohr era neputincioasă (spectrele heliului și al altor elemente). Aici cad și acele obiecții de natură principială pe care le-am formulat referindu-ne la teoria lui Bohr. Noua mecanică cuantică nu rămîne cu nimic mai prejos față de mecanica clasică, nici în ceea ce privește precizia metodelor sale, soliditatea eșafodajului și frumusețea construcției.

Titlurile folosite aici: „mecanica ondulatorie" și „mecanica cuantică" sînt prin urmare sinonime, căci prin ele înțelegem teorii care cuprind același domeniu de fapte și duc întotdeauna la rezultate concordante.

Pe urmele lui Dirac

Activitatea științifică a savantului englez Dirac este foarte bogată și multilaterală. Vom pomeni aici numai un domeniu din activitatea lui, care se leagă de problemele care ne interesează.

Perioada dintre anii 1923—1925 este epoca crizei adînci prin care trecea teoria lui Bohr. În această perioadă se făceau cunoscute mereu fapte noi, care ieșeau din cadrul acestei teorii. Concluziile ei sînt în contradicție cu multe date ale experienței privitoare la structura spectrelor. Enigmele devin din ce în ce mai numeroase. Teoria lui Bohr, înainte de a ceda locul său mecanicii cuantice, lăsîndu-i moștenire faptele cuprinse în ea, înainte de a se destrăma, ca să zicem așa, în construcții mai frumoase și mai adînci, își mai sărbătorește pentru ultima oară, în anul 1925, ultimul mare triumf. Iată despre ce este vorba. Un mare număr din acele fapte care ieșeau din cadrul teoriei lui Bohr, care erau în contradicție evidentă cu ea, au fost explicate completînd această teorie cu o ipoteză nouă și simplă, acceptînd după Uhlenbeck și Goudsmit *ipoteza spinului electronic*. Această ipoteză completează imaginea structurii atomului. Folosind imaginile și concepțiile macrofizice o putem formula în termenii următori: electronul nu circulă numai în jurul nucleului pe orbitele sale cuantice, ci mai prezintă în același timp un fel de mișcare de rotație în jurul axei sale, numită *spin*, ca și pămîntul care se rotește

în jurul axei sale în 24 de ore și execută mișcarea de revoluție în jurul soarelui în timp de un an. Ipoteza *spinului electronic* apărută în anul în care apar în același timp primele formulări ale principiilor mecanicii cuantice, este ultima rază de lumină a teoriei lui Bohr care apunea. Domeniul faptelor pe care le explică această teorie se îmbogățește prin acceptarea ipotezei spinului electronic. În ciuda acestor succese, începem totuși să înțelegem, grație mecanicii cuantice, că drumul ales nu este bun, că n-avem voie să dezvoltăm modelul atomic prin adîncirea și lărgirea conceptelor macrofizice.

Am spus că mecanica cuantică (sau mecanica ondulatorie) cuprinde același domeniu de fapte asupra căruia se extindea inițial teoria lui Bohr. Dar această afirmație cere o completare. Mecanica nouă, cuantică, nu explică acele fenomene pe care inițial teoria lui Bohr (înainte de ipoteza spinului electronic) nu era capabilă să le cuprindă. Există deci fapte care ies din cadrele mecanicii cuantice, în fața cărora atît mecanica ondulatorie cît și mecanica cuantică (concordantă cu prima în rezultate), rămîn neputincioase.

Mecanicii cuantice îi mai putem aduce o obiecție. Mecanica clasică constituie baza pe care s-a clădit atît mecanica cuantică cît și mecanica ondulatorie. Trecerea de la mecanica ondulatorie a lui Schrödinger la cea clasică, este analogă cu trecerea de la optica fizică la cea geometrică. În mecanica cuantică a lui Heisenberg obținem din nou ecuațiile mecanicii clasice înlocuind mărimile q (adică mărimile pentru care $a \times b \neq b \times a$), cu mărimile c (la care $a \times b = b \times a$ sau admițînd că $h = 0$). În ambele cazuri mecanica clasică este un caz limită.

Construcțiile lui Schrödinger și ale lui Heisenberg nu țin seama nici în cea mai mică măsură de modificările introduse de teoria relativității în fizică. În ce fel vom împăca mecanica cuantică cu rezultatele obținute de teoria relativității? Să ne amintim că ne-am mai întîlnit cu această problemă. Teoria structurii atomului de hidrogen în forma ei inițială cea mai simplă, nu ține seama de rezultatele obținute de teoria relativității. Sommerfeld a fost primul care pornind de la premisa dependenței masei de viteză, introduce principiile teoriei relativității în problemele structurii atomului și obține ca rezultat descompunerea

nivelurilor de energie cît şi explicarea faptelor noi aduse de experienţă, cum ar fi structura fină a spectrului. Teoria lui Bohr prezintă în această privinţă o superioritate faţă de mecanica cuantică. De altfel, în prima perioadă a existenţei ei, mecanica cuantică nu se putea combina cu teoria relativităţii.

Am ridicat mecanicii cuantice două obiecţii: 1) nu explică faptele explicate prin ipoteza spinului electronic; 2) fundamentul ei îl constituie mecanica clasică şi nu cea relativistă: nu putem împăca rezultatele teoriei relativităţii cu rezultatele mecanicii cuantice.

Dirac a dovedit în 1928 că putem înlătura în acelaşi timp ambele obiecţii lipsind prin aceasta teoria lui Bohr de ultimele sale avantaje faţă de mecanica cuantică. Modificînd ecuaţiile lui Schrödinger, *Dirac* le-a dat o formă concordantă cu postulatele teoriei relativităţii şi a demonstrat că în felul acesta, mecanica cuantică explică pînă şi faptele legate iniţial de ipoteza spinului electronic. Datorită lucrărilor lui Dirac am făcut iarăşi un mare pas înainte, am adîncit înţelegerea fenomenelor din jurul nostru, am adus noua mecanică cuantică la acel grad de dezvoltare în care apare limpede şi fără posibilitate de tăgăduire, superioritatea ei faţă de teoria lui Bohr.

Ecuaţiile lui Schrödinger sînt deci (ca şi modelul iniţial al teoriei lui Bohr) numai o primă aproximaţie. Aproximaţiile mai strînse şi mai adînci le obţinem (la fel ca şi înainte prin folosirea modelului lui Sommerfeld şi ipoteza spinului electronic) bazîndu-ne pe *ecuaţiile relativiste ale lui Dirac*.

Dar generalizarea mecanicii cuantice de care am amintit nu epuizează conţinutul fizic cuprins în ecuaţiile lui Dirac. Acest conţinut este extraordinar de bogat. Astfel aceste ecuaţii ne duc la concluzia că electronii pot avea *energie cinetică negativă*! Această concluzie sună la prima vedere paradoxal. Pînă acum se credea că nu putem atribui unui corp energie negativă. Numai un nebun poate enunţa cu toată seriozitatea astfel de propoziţii: „în această sală sînt minus 7 persoane“, sau „astăzi am fumat minus 10 ţigări“ etc. Totdeauna a existat credinţa că noţiunea de energie cinetică aparţine categoriei acelor noţiuni, în care folosirea numerelor negative constituie un non sens. Cum să

împăcăm această concepţie cu concluzia paradoxală — rezultată din ecuaţiile lui Dirac — că pot exista astfel de stări, în care electronul ar putea avea energie negativă? Concepţia îndrăzneaţă şi plină de imaginaţie creatoare a lui Dirac face posibilă trecerea peste aceste greutăţi. Dar înainte de a trece la interpretarea rezultatelor teoretice dată de el, să părăsim deocamdată domeniul ştiinţei şi să facem cunoştinţă cu o imagine care în aparenţă nu are nimic comun cu fizica.

Ne aflăm într-o sală în care se află mese de biliard. Toţi pereţii acestei săli sînt tapisaţi uniform cu bile de biliard. Bilele se află una lîngă alta, aşa fel încît nu se află nicăieri un loc liber. Dacă dorim să jucăm o partidă de biliard, sîntem nevoiţi să scoatem cîteva bile din perete. În perete vor apărea atunci cîteva găuri. Privind în sală vom constata că există: 1) bile pe mesele de biliard, 2) bile de biliard cu care mai sînt încă tapisaţi pereţii sălii noastre, deci bile care nu iau parte la joc, 3) găuri în pereţi tocmai în acele locuri din care s-au scos bilele pentru joc. Existenţa, atît a celor două feluri de bile (pe pereţi şi pe mese), cît şi a găurilor (în pereţi), dau o imagine care ne va permite să înţelegem mai uşor ideea lui Dirac.

Să ne întoarcem iarăşi la fizică. Admiţînd că ecuaţia lui Dirac este corectă, trebuie să ne împăcăm cu ideea că există astfel de stări ipotetice, în care electronii pot avea energia negativă. Ştim totuşi că electronii prezintă totdeauna tendinţa de a avea energia cît mai mică. Energia negativă este mai mică decît orice energie pozitivă. De ce în astfel de caz electronii existenţi în natură nu ajung în stări negative, ci rămîn în stări superioare cu energie pozitivă? Dirac ne spune că toate stările negative sînt ocupate şi atunci interdicţia lui Pauli nu permite altor electroni să se găsească şi ei în asemenea stări, la fel ca într-un atom în care electronii trebuie să rămînă pe orbitele îndepărtate de nucleu dacă orbitele mai apropiate sînt deja ocupate. Electronii a căror existenţă o constatăm experimental, adică electronii care prezintă energie pozitivă s-ar asemăna cu bilele de biliard aflate pe mese. Dimpotrivă electronii cu energie negativă (bilele din pereţi), electronii ipotetici scapă observaţiei noastre. Sîntem asemenea acelui om care intrînd în sala de biliard, vede pereţii dar nu observă

că ei sînt plini de bile de biliard. Existența electronilor cu energii negative nu o putem constata pe cale directă experimentală, totuşi potrivit concepției lui Dirac, în univers există un număr uriaş de astfel de electroni, un număr cu mult mai mare decît numărul de electroni cu energii pozitive, accesibili cunoaşterii noastre. *Ceea ce numim vid, are o structură fizică determinată,* pe care ne-o dezvăluie mecanica cuantică; *vidul constă dintr-un număr mare de electroni cu energie negativă.* Două feluri de bile, acelea care se află pe pereți şi acelea care se află pe masa de biliard, — corespund celor două feluri de electroni care au: fie energie negativă (electroni ipotetici) fie energie pozitivă (electroni reali).

Ne întrebăm: Această teorie în ansamblul ei, nu este cumva un fel de joc cu speculații de gîndire? Ce sens are introducerea în ştiință a electronilor cu energii negative, a căror existență n-am putea s-o constatăm — precum se pare — prin nici un fel de experiențe, dacă spațiul tixit cu astfel de electroni, se comportă ca un vid perfect? Şi totuşi vom vedea peste o clipă, că din această concepție asupra spațiului vid rezultă concluzii noi şi importante, care au fost pe deplin confirmate de experiență.

Ajungem la punctul culminant al teoriei lui Dirac. În comparația noastră am avut alături de bilele din pereți şi de cele de pe masa de biliard nişte goluri. Ele apăreau tocmai în acele locuri din care bilele au fost scoase şi folosite la joc. În sensul interpretării noastre, smulgerea bilelor din pereți şi aruncarea lor pe masă corespunde aducerii electronului de la starea de energie negativă, inaccesibilă observației noastre, la starea de energie pozitivă care e accesibilă cunoaşterii experimentale. Dacă, prin urmare, vom reuşi într-un fel oarecare să imprimăm unui electron cu energie negativă, o cantitate mare de energie — de exemplu, cu ajutorul unor radiații cu lungimi de undă foarte mici — vom putea să aducem electronul (bila din perete) la starea de energie pozitivă (bila de pe masă). În imaginea noastră, aleasă pentru comparație, va apărea atunci pe lîngă bila de pe masă şi o *gaură* în perete. Ce fapt îi corespunde acestei găuri din punct de vedere fizic?

Dirac află pe cale teoretică un răspuns la această întrebare. Dacă într-un spațiu tixit de electroni, va dispărea un electron, lipsei unei sarcini negative îi va corespunde

apariţia unei sarcini pozitive. Deci lipsei unui electron cu sarcina negativă îi va corespunde apariţia unei *particule* cu sarcina pozitivă, întocmai cum în algebră lipsa (scăderea) unei cantităţi negative dă ca rezultat o cantitate pozitivă. În adevăr, Dirac demonstrează că lipsa electronului cu starea de energie negativă, deci *„gaura" rămasă în urma dispariţiei acestui electron* (gaura rămasă în perete după scoaterea bilei) *trebuie să se comporte ca o particulă, care prezintă toate caracteristicile electronului, dar va avea sarcina pozitivă.* Să denumim această particulă, *pozitron sau antielectron.*

Noua teorie a spaţiului vid ne duce deci la nişte concluzii noi şi neaşteptate. Vedem aici că în anumite cazuri, sub acţiunea energiei radiaţiilor poate lua naştere o pereche de particule gemene: un *electron* şi un *pozitron*, care diferă numai prin semnul sarcinii electrice. Dar vedem şi fenomenul invers: dacă un electron în peregrinările lui (bila de pe masă), va întîlni în drumul său un pozitron (gaura din perete), ambele particule vor dispare (bila va cădea în gaură) prin contopirea lor într-o particulă *inaccesibilă observaţiei noastre* şi care nu este altceva decît *electronul ipotetic în stare energetică negativă.* Însă, în cursul acestui act de dispariţie, prin contopirea celor două feluri de particule gemene şi contrarii, va fi emanată sub formă de radiaţii o cantitate de energie tocmai atît de mare cît a fost necesară pentru smulgerea electronului din starea energetică negativă şi trecerea lui în starea energetică pozitivă.

Ambele aceste fenomene reversibile erau pe atunci încă necunoscute, dar, încă în 1932, Anderson a observat în radiaţiile cosmice apariţia acestor două feluri de particule gemene cu mase egale, dar de sarcini contrare. Una dintre aceste particule s-a dovedit a fi un electron, cealaltă un pozitron! Puţin mai tîrziu s-a observat şi fenomenul invers: dispariţia electronului şi pozitronului, cu emisiunea razelor *gamma.*

Dar ecuaţiile lui Dirac nu se referă numai la electroni ci şi la alte particule, de exemplu, *la protoni.* Prin urmare, în cazul cînd interpretarea lui Dirac este corectă, toate stările de energie negativă ale *protonilor* ar trebui satisfăcute, iar noile „găuri" corespunzătoare ar fi în cazul acesta nişte particule noi cu masa egală cu a protonului, *dar cu sarcină negativă.* Aceste particule ipotetice au şi fost poreclite

antiprotoni (am văzut că pozitronul se mai numește și antielectron). Existența lor n-a putut fi confirmată multă vreme. Putem înțelege ușor cauza acestor greutăți. Din teoria relativității cunoaștem, că orice masă este echivalentă cu o anumită energie. Avînd în vedere că un electron și un pozitron contopindu-se dispar, iar în locul lor apare radiația gamma, teoria relativității stabilește relația cantitativă între masa particulelor și energia radiației. Știm că în conformitate cu teoria relativității:

$$energia = masa \times (viteza\ luminii)^2.$$

Prin urmare, energia razelor gamma emise trebuie să fie egală cu masa electronului și pozitronului, înmulțită cu pătratul vitezei luminii. Aceeași energie trebuie s-o prezinte și o cuantă a razelor gamma sau un alt proiectil pentru ca să smulgă unul din electroni din starea energetică negativă și să-l aducă la forma dublă de electron și pozitron, particule accesibile observației. Experiența a confirmat pe deplin această concluzie a teoriei relativității.

Înțelegem acum care a fost cauza greutăților experimentale în observarea existenței antiprotonilor. Masa protonului este de aproape 1 840 ori mai mare decît masa unui electron. Avînd în vedere acest lucru, pentru smulgerea protonului din starea de energie negativă și deci pentru a provoca apariția perechii proton-antiproton, este nevoie de a folosi proiectile cu o energie de 1 840 ori mai mare decît aceea care e necesară pentru provocarea apariției perechii electron-pozitron.

Abia de curînd dispunem în laboratoarele noastre de energii atît de ridicate. Dar, din clipa în care am putut să le producem, teoria lui Dirac a avut un nou mare succes. Spre sfîrșitul anului 1955, savanții americani *Chamberlain*, *Segrè*, *Wiegand* și *Ypsilantis* au constatat formarea antiprotonilor! Încă una din concluziile rezultate din ecuațiile lui Dirac formulate cu aproape 30 de ani în urmă, și-a găsit confirmarea experimentală!

Drumul care duce la cunoașterea din ce în ce mai clară și mai precisă a lumii înconjurătoare nu este un drum drept. N-a fost atît de drept nici drumul care a dus la descoperirea pozitronului și antiprotonului, și pe care l-am prezentat aici. Oare acest drum este just, oare ipoteza unei „mări de

electroni (sau protoni) cu energii negative" corespunde realităţii? La această întrebare trebuie să răspundem şi da şi nu. Da — dacă ne referim la o anumită etapă a dezvoltării ştiinţei, nu — dacă avem în vedere sensul absolut. Noi acceptăm teoria lui Dirac, pentru că ne explică faptele experimentale deja cunoscute şi prevede alte fapte noi. *Extensiunea acestei teorii este mai mare decît a teoriilor precedente.* Ştim totuşi că o dată cu dezvoltarea ştiinţei ea va face loc unei alte teorii mai generale, cu o extensiune şi mai mare. Teoria nouă, opera inteligenţei umane, nu schimbă realitatea lumii înconjurătoare, dar *schimbă imaginea ei.* O suprafaţă netedă observată printr-o lentilă care măreşte puternic apare aspră. Fiecare teorie nouă ne înarmează cu lentile din ce în ce mai puternice, care prin puterea lor analitică prezintă ochilor noştri imagini din ce în ce mai clare şi mai precise. Cîteodată ele dezvăluie în faţa ochilor noştri numai amănuntele unei construcţii deja cunoscute, altă dată noua teorie devine un microscop care ne arată o lume cu totul deosebită de aceea pe care am cunoscut-o pînă atunci. Complexitatea inepuizabilă a fenomenelor naturii întrece întotdeauna posibilităţile noastre de cunoaştere existente la un moment dat.

Capitolul VI

NUCLEUL ATOMULUI

Secolul al XX-lea a provocat o revoluţie în concepţiile noastre despre structura materiei. Atomul nu mai este particula cea mai mică şi indivizibilă. Nucleul constituie partea lui centrală; în el se concentrează aproape exclusiv masa atomului. În jurul nucleului circulă electroni pe orbite cuantice. Nucleul, după cum ştim, constă din protoni şi neutroni.

Cum se prezintă *structura nucleului*? În această întrebare am rezumat una din problemele centrale ale fizicii de astăzi. Nu putem da la această întrebare un răspuns pe deplin satisfăcător. Totuşi, fiecare an aduce progrese serioase în cunoştinţele noastre despre nucleul atomului. După cum în liniile spectrale de lumină a ieşit la iveală structura periferiilor atomului, tot aşa există, după cum ne vom convinge, o mulţime de fenomene legate esenţial de structura părţii celei mai interioare a atomului, de structura nucleului. Tocmai pe baza acestor fenomene, fizica de astăzi se străduieşte să-şi formeze o anumită imagine despre structura nucleului.

Izotopii

În tabelul lui Mendeleev sînt prezentate greutăţile atomice ale tuturor elementelor. Putem spune deci că atomul de hidrogen are o masă de 1,008 unităţi (de altfel foarte mici), numite *unităţi de masă*. Cît de mare ar trebui să fie în cazul acesta masa atomului de heliu? Dacă şi în

cazul acesta vom trece cu vederea masele foarte mici ale electronilor, atunci masa nucleului de heliu — în componența căruia intră 2 protoni și 2 neutroni — va fi (s-ar părea) de patru ori mai mare decît masa atomului de hidrogen, deoarece noi știm că masa neutronului este aproximativ egală cu masa protonului. Prin urmare, vom avea :

masa atomului de heliu = 4 × 1,008 = 4,032 *unități de masă.*

Să comparăm acest rezultat cu cel obținut pe calea *cîntăririi* și dat în tabel. Vom găsi:

masa atomului de heliu = ***4,003*** *unități de masă.*

Vedem o deosebire esențială între aceste două rezultate. Dacă ținem seama de faptul că masele neutronului și protonului nu sînt egale, situația de la început va deveni și mai rea, pentru că vom avea:

2 × masa protonului = 2 × 1,008 = 2,016
2 × masa neutronului = 2 × 1,009 = 2,018
deci: masa atomului de heliu = 4,034 unități de masă.

Cum să explicăm această contradicție? Firește că în cazul acesta *decide cîntarul.* Problema care ni se pune constă deci în a explica de ce masa atomului de heliu este în realitate de 4,003 și nu de 4,034 unități? Mai întîi vom răspunde la o întrebare mai simplă: de ce nucleul heliului are o construcție trainică, adică de ce doi protoni și doi neutroni formează un nucleu stabil, care nu se desface în componentele sale? Știm că întotdeauna forma cea mai stabilă o are acel sistem căruia îi corespunde energia cea mai mică. Piatra lăsată să cadă ajunge la pămînt pentru că astfel își micșorează energia. Electronul dintr-un atom cade de pe o orbită de excitare pe o orbită mai apropiată de nucleu, căreia — după cum știm — îi corespunde o energie mai mică. Dacă dintr-un proton și un electron ia naștere un atom de hidrogen, în cazul acesta el emană energia sub forma unei radiații. Prin analogie, dacă doi *protoni* și doi *neutroni* formează împreună o construcție trainică, de aici rezultă că nucleul are în urma acestei combinări o energie mai mică decît componentele sale, luate fiecare în parte. Să ne amintim de concluzia bine cunoscută, rezultată din principiile teoriei relativității:

energia = *masa* × *(viteza luminii)*^{2}.

Dacă din masa (calculată) de 4,034 a componentelor nucleului de heliu, adică din masa a doi protoni și doi neutroni la un loc, scădem masa (cîntărită) de 4,003 a nucleului de heliu, vom constata că în cursul formării nucleului de heliu au dispărut 0,031 unități de masă. Se pare că pentru explicarea acestui fapt, ipoteza cea mai simplă ar fi că *fenomenul de formare a nucleului de heliu* din „cărămizile" lui elementare *este însoțit de emiterea unui proiectil fotonic*, la fel cum apare și la formarea atomului de hidrogen dintr-un proton și un electron. Principiul conservării masei va fi respectat dacă vom admite că energia acestui foton trimis în univers este echivalentă cu 0,031 unități de masă, conform formulei date mai sus. Energia care corespunde acestei mase este foarte mare, ceea ce înseamnă că radiația emisă în clipa formării nucleului de heliu ar fi foarte dură, ar avea deci o lungime de undă extraordinar de mică. Ne amintim însă că proiectilele energetice uriașe, fotonii bogați în energie sau cuantele mari de lumină, corespund unor unde foarte scurte. Un calcul simplu ne-ar convinge că, dacă în clipa formării nucleului de heliu a fost emis un foton de o energie corespunzătoare scăderii masei, lungimea undei sale ar trebui să se găsească în banda celor mai scurte unde cunoscute de noi, mai scurte chiar și decît ale razelor gamma.

Nucleul heliului este prin urmare un sistem extraordinar de trainic, căci măsura trăiniciei lui o arată scăderea enormă a energiei sale în raport cu aceea a componentelor sale, adică a celor doi protoni și doi neutroni din care este format.

Această scădere mare a energiei nucleului îi asigură trăinicia, rezistența lui în ciocnirile cu electronii, protonii și alte particule. Acest lucru se va înțelege mai ușor în lumina altor fenomene.

Înțelegem acum că greutățile atomice ale elementelor nu pot fi multipli exacți ai greutăților protonilor și neutronilor. *Întotdeauna masa nucleului trebuie să fie mai mică decît suma maselor particulelor sale componente.* O privire aruncată asupra tabelului lui Mendeleev ne va convinge totuși că întîlnim aici o greutate esențială. Vedem în tabel elemente ale căror greutăți atomice diferă de numere întregi. Să cercetăm mai de aproape de exemplu *neonul* (numărul de ordine 10), a cărui greutate atomică este de 20.18. Numărul

tău de ordine ne arată că în nucleul neonului se află 10 protoni. Cîți neutroni se află în acest nucleu? Dacă ar fi tot 10 neutroni, atunci am avea:

10 × masa protonului = 10 × 1,008 = 10,08
10 × masa neutronului = 10 × 1,009 = 10,09
deci: masa nucleului de neon = 20,17

Prin urmare, luînd în considerare o anumită scădere a mase care să corespundă energiei de legătură, adică energiei emise în cursul legării acestor neutroni și protoni, ajungem la concluzia că masa atomului de neon ar trebui să fie puțin mai mică decît 20,17. Dar ea este de 20,18. Dacă la rîndul său nucleul ar avea 11 neutroni, masa lui ar fi prea mare în comparație cu datele experienței, deci n-am putea atribui această diferență energiei de legătură. Această greutate apare și mai evident în cazul *clorului* (numărul de ordine 17), cu greutatea atomică de 35,46. Cum să explicăm aceste contradicții? Cum să le punem de acord cu ipoteza că nucleul constă din protoni și neutroni?

Știm că proprietățile unui element chimic sînt determinate de sarcina nucleului. Proprietățile chimice ale elementului, caracteristicile spectrului său, structura păturilor electronice externe, toate acestea depind de sarcina nucleului.

Să ne închipuim acum (ne întoarcem la exemplul dat), că nucleul neonului (numărul de ordine 10) este compus din 10 protoni și 10 neutroni și să presupunem, pentru simplificare, că atît masa protonului cît și masa neutronului sînt egale cu unitatea. Greutatea atomică a neonului ar fi atunci egală cu 20, iar sarcina electrică a nucleului ar fi de 10 ori mai mare decît sarcina elementară pozitivă. Dar ne putem închipui structura neonului și altfel. Să presupunem că într-un fel oarecare am reușit să introducem în nucleul neonului încă un neutron, astfel încît nucleul modificat al neonului este compus din 10 protoni și 11 neutroni. Sarcina nucleului n-a suferit deci nici o schimbare. Ea va fi și acum tot de zece ori mai mare decît sarcina protonului, cum era și înainte. Caracteristicile elementului, proprietățile sale chimice, vor rămîne la fel. Numai greutatea atomică va fi acum alta și anume de 21 și nu de 20. La fel ne putem închipui că nucleul primar al neonului a fost îmbogățit cu doi neutroni. Proprietățile elementului vor rămîne și de

data aceasta neschimbate, iar singura diferență va consta numai în altă greutate atomică, care de data aceasta va fi de 22. Generalizînd, putem deci să admitem *că în același element chimic există atomi cu aceeași sarcină electrică a nucleului, deci cu același număr de ordine în tabelă, dar cu greutăți atomice diferite.* Ne convingem, deci, iarăși că fizica de azi a redus cu totul rolul greutății atomice, căci ne putem închipui greutăți atomice diferite, care corespund însă acelorași elemente. Formulăm problema de principiu: există oare în natură diferite variante ale aceluiași element care diferă numai prin greutatea lor atomică? Experiențele frumoase și ingenioase ale lui *Aston* făcute în 1919 au dat un răspuns afirmativ la această întrebare.

Ca să înțelegem ideea conducătoare a experiențelor lui Aston, să ne închipuim de exemplu atomii ionizați de clor. În urma ciocnirilor unor proiectile electronice cu electronii din atomul clorului să presupunem că a fost smuls un electron. Atomul inițial neutru al clorului prezintă acum o sarcină pozitivă egală cu sarcina unui proton. Un fascicul de atomi de clor astfel ionizați, supus acțiunii unui cîmp electric și magnetic, se deplasează pe un anumit drum. Forma acestui drum depinde nu numai de viteza atomilor de clor, ci și de masa lor. Pornind de la acest principiu, Aston a construit un aparat extraordinar de fin, cu o construcție complicată, pe care l-a numit *spectrograf de masă.* Știm că spectroscopul, analizînd culorile, descompune spectrul luminos în componentele sale. Un rol asemănător, însă într-un alt domeniu, îl îndeplinește spectrograful de masă al lui Aston. Să considerăm un fascicul de ioni de clor în mișcare. Dacă acești ioni au mase diferite, atunci spectrograful lui Aston, supunînd atomii ionizați la acțiunea cîmpului electric și magnetic, descompune acest fascicul în tot atîtea fascicule separate — despărțite prin intervale — cîte feluri de mase atomice există în fasciculul primar. Dacă toți atomii clorului ionizat ar avea aceeași masă, am avea un singur fascicul pe care nu l-am putea descompune. Dacă însă fasciculul considerat este un amestec de ioni cu mase atomice diferite, atunci, după cum am spus, spectrograful Aston va da tot atîtea fascicule cîte feluri de mase sînt. Experiențele lui Aston au dat un răspuns definitiv la următoarea întrebare: neonul, clorul (sau oricare alt element), se compune oare din atomi

cu aceeași greutate atomică, sau este un amestec de atomi cu greutăți atomice diferite? Răspunsul pe care ni-l dă experiența este următorul: *Neonul este un amestec de atomi cu greutăți atomice diferite.* În neonul gazos (numărul de ordine 10), există atomi cu greutatea atomică 20 (10 protoni și 10 neutroni), cu greutatea atomică 21 (10 protoni și 11 neutroni) și în sfîrșit, cu greutatea atomică 22 (10 protoni și 12 neutroni). Clorul (numărul de ordine 17) este compus din atomi de două feluri, ale căror greutăți atomice sînt 35 și 37. Cu alte cuvinte, neonul (sau clorul) formează *o pleiadă de izotopi*. (Diferite variante ale aceluiași element, care diferă numai prin greutatea atomică, se numesc *izotopi*). Toți izotopii din care se compune un element dat constituie pleiada lui. Pleiada neonului constă din trei, a clorului din doi izotopi. Greutățile atomice ale izotopilor clorului au aici numai valori aproximative, dar ele diferă foarte puțin de valori mai precise, care sînt de 34,98 și 36,98. Greutățile atomice ale izotopilor, la toate elementele, se exprimă prin numere care diferă foarte puțin de numerele întregi. Tocmai pe aceste numere întregi, care ne spun cîți protoni și neutroni se află într-un nucleu, le numim *numere de masă ale izotopilor*, căci ele precizează masele fiecărui izotop în parte. Numerele de ordine, după cum știm, arată numărul protonilor din nucleu. Le mai numim și *numere atomice*, ca să subliniem, că ele arată atomul și elementul cu al cărui izotop avem de-a face. Scăzînd din numărul de masă, numărul de ordine (atomic), obținem *numărul de neutroni* din nucleul respectivului izotop. Prin urmare, caracterizăm un izotop cu ajutorul a două numere: numărul atomic și numărul de masă, care determină pe deplin proprietățile atomului, structura lui și componența nucleului.

Acum înțelegem de ce în tabelul lui Mendeleev greutățile atomice ale unora dintre elemente se exprimă prin numere care diferă mult de numerele întregi. Greutatea atomică măsurată este o *greutate atomică medie* a unui amestec de diferiți izotopi. Greutatea atomică a clorului este de 35,46, deoarece cei doi izotopi ai acestui element, avînd numerele de masă respectiv 35 și 37, există în raportul aproximativ de 3:1. La fel și în cazul neonului. Neonul este un amestec de trei izotopi, în care izotopul cu greutatea 20 se află în

acest amestec în proporție de 88%. De aceea, greutatea atomică medie se apropie de cifra 20.

Cercetînd toate elementele care există în natură, s-a stabilit că numai puține din ele n-au izotopi. Unele din ele posedă niște pleiade chiar foarte bogate. De exemplu, staniul are chiar 10 izotopi. Există deci la staniu izotopi ale căror greutăți atomice diferă chiar cu 10%. În tabelul dat la sfîrșitul cărții avem izotopii unora dintre elemente. Ordinea în care sînt date numerele de masă arată cu ce procentaj participă fiecare izotop în parte. Pe primul loc este pus izotopul care apare la elementul respectiv în cantitatea cea mai mare etc.

Dar se pune întrebarea: de ce observăm mereu aceleași greutăți atomice ale diferitelor elemente? De ce izotopii apar la elementul respectiv întotdeauna în aceleași proporții? De ce, de exemplu, neonul, clorul, litiul, staniul etc., obținute în condiții diferite, prezintă întotdeauna aceeași greutate atomică? Nu cunoaștem pînă acum nici un răspuns satisfăcător la această întrebare. Elementele arată într-adevăr în mod general greutăți atomice constante, ceea ce înseamnă că izotopii există în ele în anumite proporții de greutate, în general neschimbate. Numai plumbul constituie o excepție, dar la această problemă vom reveni mai tîrziu.

Apare o problemă nouă. Nu este cumva posibil de a separa unii izotopi de alții? Nu s-ar putea izola, de exemplu, trei categorii de atomi cu greutăți atomice diferite dintr-un amestec de atomi de neon? În felul acesta am putea convinge pe cei mai înverșunați sceptici de existența izotopilor. Efectuarea practică a acestei separări este extrem de anevoioasă. Izotopii aceluiași element nu diferă între ei prin nici o proprietate chimică. Totuși, astăzi putem separa izotopii unui element chiar pe scară industrială. S-a constatat, în adevăr, că nucleele unora din ei prezintă niște proprietăți speciale, deosebit de valoroase.

Foarte interesantă este istoria descoperirii izotopilor hidrogenului. Descoperirea lor s-a făcut pe altă cale decît la alte elemente, nu cu ajutorul spectrografului de masă al lui Aston, ci cu ajutorul spectroscopului obișnuit.

Ne amintim că hidrogenul emite radiații luminoase în seria lui Balmer și că formulele care exprimă lungimea

de undă a acestei serii cuprind constanta lui Rydberg. Am cunoscut-o în două etape. Prima etapă este premisa unui nucleu-soare imobil; a doua etapă, care a dus la valoarea mai precisă a constantei lui Rydberg, a constat din înlăturarea ipotezei simplificatoare, acceptînd ipoteza că electronul și protonul se mișcă în jurul unui centru de greutate comun. Am dat atunci următorul raport:

$$\text{valoarea mai precisă a constantei lui Rydberg} = \frac{\text{valoarea aproximativă a constantei lui Rydberg}}{1 + \frac{1}{1\,836}}.$$

Să presupunem că există un izotop al hidrogenului și că nucleul acelui izotop constă dintr-un proton și un neutron. Sarcina nucleului și numărul atomic al elementului nu vor suferi nici o schimbare, iar singura diferență va consta în dublarea greutății nucleului. Modelul atomului lui Bohr, deci și orbitele pe care circulă un electron, vor rămîne aproape neschimbate. Diferența (de altfel foarte mică), va apărea în calcularea valorii mai precise a constantei lui Rydberg. Nucleul-soare în izotopul hidrogenului este de două ori mai greu. Presupunînd, deci, că el este imobil vom comite o eroare mai mică decît în cazul hidrogenului, la care nucleul constă numai dintr-un proton. Raționamentul pe care-l facem aici nu ne este necunoscut. L-am mai făcut o dată comparînd seria lui Balmer cu seria a patra a heliului ionizat. La fel și în acest caz vom avea:

$$\text{valoarea mai precisă a constantei lui Rydberg pentru izotopul hidrogenului} = \frac{\text{valoarea aproximativă a constantei lui Rydberg}}{1 + \frac{1}{2 \times 1\,836}}$$

La numitor va apărea deci numărul $1 + \frac{1}{2 \times 1\,836}$ în locul numărului $1 + \frac{1}{1\,836}$.

Limita seriei lui Balmer pentru izotopul hidrogenului va fi puțin deplasată în raport cu limita seriei lui Balmer pentru hidrogenul obișnuit. La fel, toate liniile seriei lui Balmer la ambii izotopi vor prezenta o deplasare unele față de altele. Teoria ne permite să calculăm valoarea acestei deplasări. Avînd în vedere că, după toate probabilitățile,

numai un număr mic de atomi posedă nuclee mai grele, liniile deplasate vor fi foarte slabe. În ciuda acestei situaţii, în anul 1932, Urey împreună cu colaboratorii săi au constatat experimental existenţa acestor linii. S-a văzut că în condiţii normale, la aproximativ zece mii de atomi de hidrogen, *numai un atom are numărul de masă 2.*

Astfel s-a descoperit izotopul hidrogenului. Situaţia sa faţă de alţi izotopi este excepţională. Pe de o parte masa lui este de două ori mai mare decît masa atomului normal de hidrogen, adică a atomului celui mai răspîndit de hidrogen, pe de altă parte nucleul lui este cel mai simplu nucleu compus, adică este un nucleu alcătuit nu dintr-o singură particulă ci din două, în cazul acesta dintr-un *proton* şi un *neutron.* Din această cauză, proprietăţile şi comportarea sa în diferite condiţii au fost cercetate foarte amănunţit, au fost elaborate metodele pentru obţinerea lui în stare pură şi i s-a dat chiar un nume special, *deuteriu*, avînd în vedere situaţia lui excepţională. Deuteriul este deci izotopul hidrogenului, al cărui nucleu este format dintr-un proton şi un neutron.

Să revenim din nou la tabelul lui Mendeleev. Ştim că el nu ne dă cunoştinţe atît de complete despre atomi, cum se crezuse înainte. Greutăţile atomice înscrise sînt mediile greutăţilor unui amestec de izotopi. Să ne închipuim acest tabel dezvoltat în spaţiu. Metoda acestei dezvoltări o vom ilustra printr-un exemplu particular. Iată, de exemplu, acolo unde în tabel vedem căsuţa neonului, să punem 3 cuburi suprapuse, fiindcă neonul are 3 izotopi. Toate cele 3 cuburi corespund aceluiaşi element cu acelaşi nume, cu acelaşi număr de ordine din tabelul lui Mendeleev. Fiecare cub reprezintă un izotop. Pe cubul de la bază vom scrie greutatea atomică 20, căci acest izotop este cel mai bine reprezentat în acest amestec; pe al doilea cub vom scrie 22 şi, în sfîrşit, pe al treilea cub, aşezat în vîrf, vom scrie 21, el fiind reprezentat cel mai slab în amestecul de neon. În pătrăţelul 50, care conţine staniul cu cei 10 izotopi ai lui, vor fi 10 cuburi. Procedînd astfel cu toate elementele, vom obţine forma stereometrică a tabelului lui Mendeleev, care ne va informa mai amănunţit despre structura atomilor fiecărui element în parte. Se va vedea atunci că numerele care corespund greutăţilor atomice scrise pe diferite cuburi

vor fi foarte apropiate de numerele întregi. În felul acesta explicăm și înlăturăm greutatea legată de existența greutăților atomice care se depărtează mult de numere întregi.

Radioactivitatea

În secolul trecut se credea că știința a scăpat de visurile copilărești ale alchimiștilor. Imuabilitatea și indivizibilitatea elementelor erau socotite ca un succes esențial al științei. În secolul al XX-lea problema alchimiei devine din nou actuală, dar într-o formă schimbată. Nu căutăm piatra filozofală, nu încercăm să transformăm plumbul sau mercurul în aur, dar formulăm o problemă în mod general. Sîntem în stare să schimbăm sarcina nucleului atomic și să-l transformăm în alt element?

Vom afla în cele ce urmează că această minune a alchimiei s-a petrecut pentru prima oară în anul 1919, în vestitul laborator al lui Rutherford la Cambridge, iar astăzi se realizează în mod curent în laboratoarele de fizică. Dar mai înainte, la începutul secolului al XX-lea, s-a constatat că transformarea unor elemente în altele se petrece în natură de la sine, fără încetare, în *fenomenele de radioactivitate*, spontan, fără intervenție din afară. Nu putem exercita nici o influență asupra acestor fenomene, nu le putem întîrzia, nici frîna, nu putem micșora sau mări intensitatea desfășurării lor. Știința despre legile care stau la baza fenomenelor de radioactivitate, îmbogățită prin contribuția uriașă a Mariei Skłodowska-Curie, a devenit astăzi foarte vastă. Ne vom mulțumi să cităm aici numai rezultatele definitive, deci vom trece peste descrierea metodelor prin care s-a ajuns la descoperirea lor.

Nucleul atomic este compus din protoni și neutroni între care acționează forțe specifice de atracție, *numite forțe nucleare*. Datorită acestor forțe, nucleul constituie un sistem trainic. Să privim din nou tabelul izotopilor. Vedem că nucleele elementelor mai ușoare sînt compuse aproximativ din același număr de protoni și neutroni. De exemplu, nucleul heliului (număr de ordine 2) constă din doi protoni și doi neutroni. Există, ce-i drept, un izotop cu numărul de masă 3, dar el apare în cantitate foarte mică. Un atom al acestui izotop apare aproximativ la un milion

de atomi de heliu cu numărul de masă 4. La neon (numărul de ordine 10), nucleele izotopului reprezentat în cantitatea cea mai mare sînt compuse din 10 protoni și 10 neutroni; la sulf (numărul de ordine 16) de 16 protoni și 16 neutroni, cu toate că în ambele cazuri apar și izotopii cu un număr mai mare de neutroni. Dacă însă trecem la elementele următoare, vedem că *numărul de neutroni crește mai repede* decît numărul de protoni. De exemplu, izotopul cel mai răspîndit al *zincului* (numărul de ordine 30), are 34 neutroni la 30 protoni, iar la mercur (numărul de ordine 80) la cei 80 de protoni apar chiar 122 neutroni. Această creștere mai rapidă a numărului de neutroni în nucleu se poate înțelege ușor. Protonii au sarcină pozitivă, deci între ei apare o respingere conformă legii lui Coulomb. Această respingere este cu atît mai puternică, cu cît găsim în nucleu mai mulți protoni. De aceea, pentru a o compensa, numărul neutronilor trebuie să crească mai repede decît numărul protonilor: datorită lor, forțele de atracție, așa-numitele forțe nucleare, devin mai puternice decît forțele de respingere. Dar s-a văzut că nici această creștere mai rapidă a numărului de neutroni nu salvează stabilitatea nucleului. În nucleele mari și grele forțele nucleare sînt prea slabe pentru a ține la un loc toate componentele lor. Din cauza aceasta ultimele elemente ale sistemului periodic prezintă structuri nestabile, expuse la catastrofa dezintegrării și transformării.

Ce metode folosim în cercetarea fenomenelor de radioactivitate? Atomii se dezintegrează. Dar nu știm de ce catastrofa se abate tocmai asupra unui anumit atom și nu asupra altuia. Cînd avem un număr mai mare de atomi radioactivi, nu putem prevedea care din ei se va dezintegra cel dintîi. Sîntem nevoiți aici să aplicăm metode statistice. Trebuie să ne mulțumim cu răspunsul la întrebarea: care va fi procentul atomilor care se vor dezintegra într-o anumită perioadă de timp? Această viteză de dezintegrare este caracterizată cu ajutorul așa-numitei perioade radioactive sau *timp de înjumătățire.* Acest timp de înjumătățire este timpul după trecerea căruia jumătate din numărul atomilor unui element suferă transformarea. Timpul de înjumătățire este o *valoare caracteristică pentru un anumit element radioactiv.* El nu depinde de trecutul elementului, nu depinde de ce s-a petrecut cu el înainte, nu depinde nici de condițiile externe.

Nu-l putem modifica în nici un chip. Timpul de înjumătățire caracteristic pentru viteza dezintegrării respective, este *o valoare constantă.*

Să trecem deocamdată peste elementele cu numărul de ordine mai mare de 92 care se află în tabelul lui Mendeleev dincolo de uraniu. Ele au o situație specială și vom reveni asupra lor mai tîrziu. Să începem considerațiile noastre cu uraniul I.

Uraniul I, un element radioactiv, se dezintegrează foarte încet. El este un element cu viață lungă. Timpul său de înjumătățire este de 4,5 miliarde de ani. După trecerea acestui timp atît de lung, va rămîne de exemplu din 2 grame de uraniu, numai un gram. După alți 4,5 miliarde de ani, masa uraniului se va reduce iarăși la jumătate, adică va deveni *o jumătate de gram.* Fenomenele de dezintegrare radioactivă privesc numai partea internă a atomului și anume *nucleul* său. *Nucleul* este locul în care se petrece acea catastrofă pe care o numim dezintegrare radioactivă.

Ne întrebăm: cum piere un atom de uraniu? În nucleele grele avem mulți protoni și neutroni. Dar ei nu sînt așezați în dezordine, ci formează grupuri trainice, astfel aranjate încît *să corespundă energiei minime.* Știm că o astfel de grupare trainică este compusă din nuclee de heliu ($_2He^4$), adică din așa-zisele *particule alfa.* Mai ales în nucleele atomilor grei, perechile de protoni se pot uni cu perechile de neutroni, formînd particule alfa. Tocmai o astfel de particulă alfa este expulzată cu viteză mare, dintr-un atom de uraniu care se descompune, tinzînd spre micșorarea masei și a sarcinii sale. Particula alfa este expulzată cu o viteză foarte mare, numai de 20 de ori mai mică decît viteza luminii, iar dacă ne gîndim că această particulă este aproape de 7 350 de ori mai grea decît un electron, vom înțelege că acest proiectil are o energie cinetică mare. Nucleele atomilor de uraniu se descompun emițînd particule alfa, adică nuclee de heliu. Cu timpul numărul atomilor de uraniu descrește, iar în vecinătatea lui se formează produsul descompunerii lui — *heliul.* Acest fapt poate fi constatat prin observare directă. Restul rezultat după emisiunea unui nucleu de heliu nu mai este atomul de uraniu I. Am spus în repetate rînduri că sarcina electrică a nucleului determină caracterul atomului. În urma pierderii unei particule alfa, se schimbă

atît numărul de masă cît și numărul de ordine (ceea ce este mai important) al elementului respectiv. Cum se schimbă numărul de masă? Răspunsul este simplu: el devine mai mic cu atîtea unități, cîte reprezintă numărul de masă al nucleului de heliu emis, *adică cu 4 unități*. Putem da de asemenea pe loc un răspuns la întrebarea: cu cît se schimbă numărul de ordine? Se micșorează firește cu 2 unități, căci nucleul heliului conține 2 protoni. Prin urmare, în tabelul lui Mendeleev vom găsi locul pentru urmașul uraniului I, *mergînd cu două căsuțe înapoi*. Acest urmaș este uraniul X_1. Ar trebui deci să așezăm uraniul X_1, în pătrățelul destinat elementului cu numărul de ordine 90, adică să-l suprapunem *toriului*. Uraniul X_1 este deci un izotop al toriului. Știm că izotopii nu trebuie considerați niște elemente distincte. Totuși, pentru elementele radioactive s-a încetățenit acest mod neprecis de exprimare: vorbim despre diferiții izotopi ca și cînd am vorbi despre elemente diferite.

Uraniul X_1, urmașul uraniului I cu viața îndelungată, nu se bucură de o viață lungă. Timpul său de înjumătățire este relativ scurt: numai 24 zile. În acest timp jumătate din masa uraniului X_1 va dispare dînd naștere unui element nou. Să vedem cum se produce această dezintegrare. Catastrofa care se petrece în interiorul nucleului de uraniu X_1 se desfășoară diferit de aceea descrisă anterior. De data aceasta, din atom nu se mai elimină o particulă alfa, ci un electron e^-, dar esențial este faptul că acest electron nu face parte din electronii planetari ai atomului, ci provine tot din nucleul atomului.

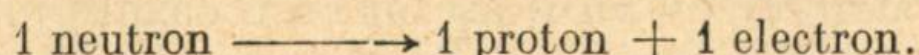
Imediat se pune o nouă problemă. De unde provine un electron în nucleu? Înainte vreme, cînd nu se cunoșteau neutronii, se presupunea că nucleul este compus din *protoni* și *electroni*. Neutronului de astăzi îi corespundea — după concepțiile din acea vreme — un proton și un electron. Pe atunci se putea deci explica foarte ușor dezintegrarea nucleului prin expulzarea unui electron. Astăzi însă știm că nucleul atomic este compus din *protoni* și *neutroni* și cunoaștem fapte care nu se pot împăca în nici un chip cu ipoteza existenței electronilor în nucleu. Cunoaștem, de exemplu, atomi radiactivi care descompunîndu-se elimină *pozitroni* din nucleu.

Dacă nucleele ar fi alcătuite din protoni și electroni ar trebui să admitem că în nucleul atomului se mai află și pozitroni.

Or, noi știm că un electron și un pozitron întîlnindu-se dispar, iar în locul lor apare radiația gamma. Prin urmare nu există nici o posibilitate ca în nucleu să coexiste simultan electroni și pozitroni.

Pe baza acestor fapte și a altora, admitem că nucleul este alcătuit din *protoni* și *neutroni*. Atunci care este proveniența electronilor expulzați din nucleu? Ca să răspundem la această întrebare, trebuie să ne amintim de fenomenele care se produc la periferia atomului. Cînd un electron planetar trece de la o orbită mai îndepărtată la o altă orbită mai apropiată de nucleu, se emite un foton. Deoarece cunoaștem mecanismul fenomenului, nu deducem numaidecît că acest foton a existat înainte în atom. Știm că el a luat naștere în momentul și prin fenomenul emisiei. În mod analog, *electronii expulzați din nucleul atomic iau naștere în acest nucleu în momentul și prin fenomenul emisiei*, adică în cursul dezintegrării radioactive.

Să admitem că într-un nucleu atomic, un neutron se dezintegrează și cu acest prilej apar un proton și un electron după schema:



1 neutron ——→ 1 proton + 1 electron.

Să cercetăm acum dacă un astfel de proces este posibil. Neutronul nu prezintă nici o sarcină electrică, în schimb sarcinile protonului și electronului sînt egale ca valoare, însă de semn contrar. De aceea, suma lor este zero. Cu alte cuvinte, în procesul cercetat de noi nu dispare și nu apare nici o sarcină. Privit din acest punct de vedere, procesul nu întîmpină nici o greutate. Să comparăm acum masele exacte ale particulelor rezultate, exprimate în unități de masă electronice. Avem:

	masa protonului =	1 836,1
	masa electronului =	1,0
deci:	suma maselor protonului și electronului =	1 837,1
	însă masa neutronului =	1 838,5

Vedem, prin urmare, că dacă ar apare un proton și un electron dintr-un neutron, am avea încă un anumit surplus de

masă, care potrivit formulei cunoscute din teoria relativității, *ar putea fi emanată sub formă de energie*. Deci, un proces de acest fel este posibil și poate decurge spontan, cu degajare de energie. Într-adevăr, pe calea experiențelor s-a constatat că un neutron se dezintegrează într-un proton și un electron. S-a măsurat chiar și timpul de înjumătățire al acestei descompuneri, care este de aproximativ 12 minute.

Știm acum de unde provin electronii emiși din nucleul atomic cu ocazia dezintegrării radioactive a uraniului X_1 și a altor elemente cu radioactivitate de același tip. Acești electroni sînt expulzați din nucleu cu o viteză uriașă, care se apropie mult de viteza luminii, constituind *razele beta*. Cum se transformă nucleul după emisia unui electron? Numărul de masă al nucleului nu va suferi nici o schimbare, căci în urma transformării unui neutron într-un proton și un electron nu se schimbă suma totală a particulelor rămase în nucleu (protoni și neutroni). Greutatea atomică nu se modifică decît în măsură neînsemnată, căci masa electronului emis este foarte mică. Se modifică în schimb sarcina nucleului — care crește pentru că un neutron (fără sarcină) se transformă în proton (cu sarcină) — electronul este expulzat — și în cazul acesta, numărul de ordine al nucleului crește cu o unitate. Ia naștere deci un *element nou*, care în tabelul lui Mendeleev va fi așezat cu o căsuță mai la dreapta față de „tatăl" său care este X_1 și cu o căsuță mai la stînga de „bunicul" său, care este uraniul I (de la început).

Acest element nou, care este un izotop al protoactiniului, poartă numele de uraniu X_2. Durata vieții sale este mai scurtă decît a uraniului X_1. Uraniul X_2 piere prin același fenomen ca și „tatăl" său, și anume prin emisiunea razelor *beta*. Produsul obținut nu-și va modifica nici el numărul de masă, dar se va deplasa în tabelul lui Mendeleev cu încă o căsuță la dreapta, ajungînd astfel la punctul de plecare. Uraniul II rezultat în cursul acestei transformări este, după cum vedem, un *izotop al uraniului I (inițial)*. Schimbarea sarcinii nucleului cauzată de emisia unei particule alfa ($_2He^4$) în cursul primei dezintegrări, a fost ulterior compensată prin două emisiuni consecutive de electroni (β). Mai departe, expulzarea din nucleul uraniului II a unei particule alfa micșorează numărul de masă al uraniului II cu 4 unități.

Transformările descrise aici le-am reprezentat grafic în fig. 31.

Toate aceste transformări le putem citi din tabelul genealogic al uraniului, în care avem toate stadiile de dezintegrare, prezentate pe rînd. Numele elementului a

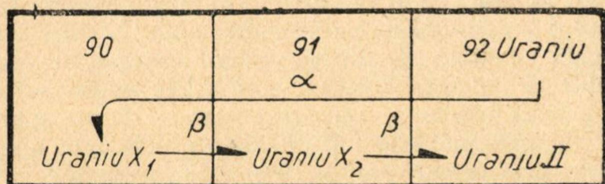


Fig. 31 Un fragment al tabelului genealogic al uraniului.

fost dat de noi într-un cerculeț la un loc cu numărul lui de masă și numărul de ordine. Lîngă săgețile care leagă toate elementele (cercuri) unul de altul, am prezentat tipul de dezintegrare radioactivă și timpul său de înjumătățire.

Să privim tabelul genealogic al uraniului. Chiar de la prima privire observăm că el este mai complicat decît cum l-am descris mai sus. De la uraniul X_1 pleacă două săgeți, una la uraniul X_2, pe care-l cunoaștem deja, alta la uraniul Z. Produsul de dezintegrare al uraniului Z este tot uraniul II, ca și în cazul uraniului X_2. Vedem, de asemenea, că atît numerele de masă cît și numerele de ordine ale uraniului X_2 și uraniului Z sînt egale. Prin ce se deosebesc atunci cele două nuclee? Răspunsul la această întrebare ne va explica în același timp cum apare al treilea fel de radiații emise în cursul dezintegrării radioactive, adică așa-zisele *radiații gamma* (γ).

Am mai arătat că neutronii și protonii din nucleu nu sînt dispuși în dezordine. Ei sînt aranjați în așa fel, încît energia nucleului să fie minimă. Dezintegrarea radioactivă determină o perturbare în echilibrul nucleului. După expulzarea particulei alfa sau a electronului (beta), nucleul rămas nu este obligat să se afle neapărat chiar de la început în această stare, comodă, de energie minimă.

Emisiunea unei particule alfa sau a unui electron aduce o modificare importantă în alcătuirea nucleului și se poate întîmpla ca aranjarea din nou a neutronilor și a protonilor în nucleul nou-născut să nu fie cea mai convenabilă, adică

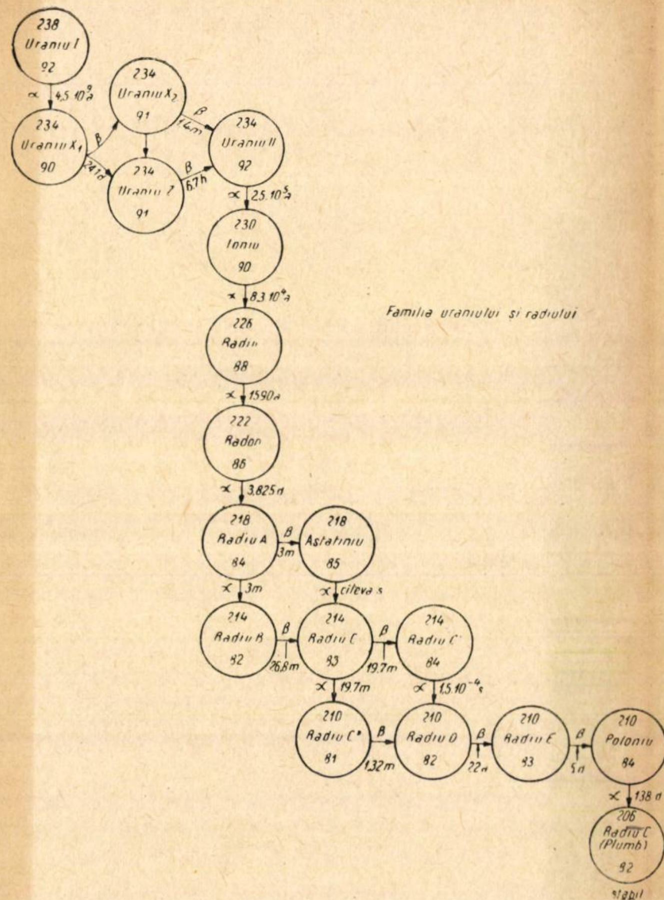
să nu fie corespunzătoare energiei minime. Un astfel de nucleu poartă numele de *nucleu excitat*.

Ne este uşor acum să prevedem cum se vor înlănţui evenimentele următoare. Nucleul excitat, tinzînd la micşorarea energiei sale, va trece la un nivel de energie inferior, la nivelul normal. Ca şi în cazul unui atom, această trecere a nucleului va determina emisia *unui foton*, a cărui energie va fi egală cu diferenţa dintre nivelul energiei de excitare şi nivelul de energie normal. Radiaţiile emise astfel de nucleu poartă numele de *radiaţii gamma* şi le corespunde o lungime de undă mai scurtă decît lungimea de undă a razelor Roentgen, prin urmare ele vor fi şi mai penetrante.

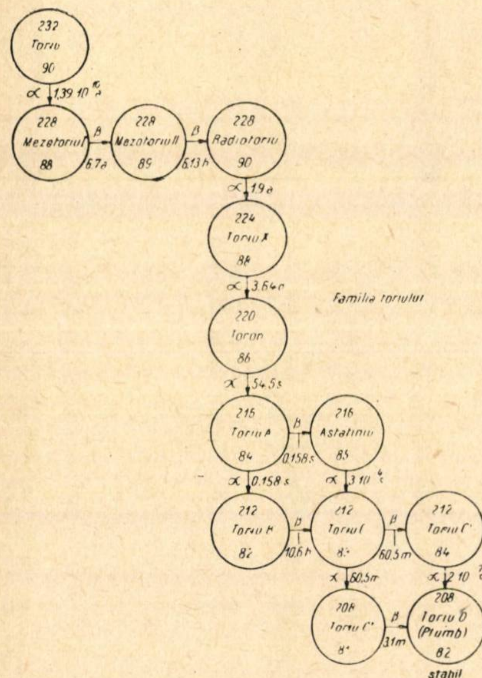
Cercetarea radiaţiilor gamma întîmpină greutăţi şi mai mari decît aceea a razelor Roentgen. Din cauza lungimii mici de undă, *reţeaua cristalină* dă greş în acest caz, la fel cum dă greş reţeaua de difracţie la cercetarea razelor Roentgen. Numai la razele gamma cu lungimi de undă relativ mari, reţeaua cristalină dă efectul de difracţie, care permite măsurarea lungimii de undă. De obicei însă, măsurarea lungimilor de undă a razelor gamma se face folosind o altă metodă, pe care nu o vom descrie aici.

Prin urmare, nucleul uraniului X_2 trebuie considerat ca un simplu nucleu excitat al uraniului Z. Emisia razelor gamma în cursul transformărilor nucleare nu este un fenomen rar. Nucleul excitat ia naştere şi la alte elemente supuse dezintegrării radioactive. Exemplul citat de noi se deosebeşte numai prin aceea că nucleul excitat al uraniului X_2 are o viaţă lungă. În majoritatea cazurilor, durata vieţii nucleului excitat este de o fracţiune infimă de secundă. Nucleul trece aproape imediat la nivelul de energie normal şi numai emisia razelor gamma poate dovedi că dezintegrarea radioactivă n-a dus direct la starea corespunzătoare energiei sale minime.

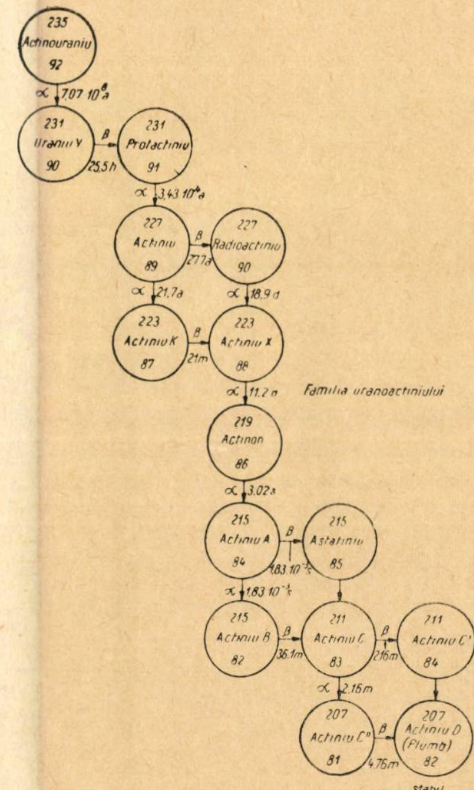
Cercetarea razelor gamma a adus multe informaţii preţioase despre structura nucleului. S-a văzut, de exemplu, că aceste radiaţii determină spectre de linii. Nucleul excitat, trecînd la starea lui energetică fundamentală, emite radiaţii cu o lungime de undă bine precizată. Aceasta arată că energia nucleului, la fel ca şi energia atomului, nu se poate modifica în mod continuu. Mai mult, în cazul unor atomi radioactivi, s-a stabilit că radiaţiile emise de ei nu



a



b



c

I Tabelul genealogic al celor trei familii de elemente radioactive. Numărul de sus din cerc, arată numărul de masă; cel de jos arată numărul de ordine. La tipul dezintegrării este indicat și timpul de înjumătățire:

a — ani, *d* — zile, *m* — minute, *s* — secunde.

sînt omogene, ci formează un adevărat spectru de linii, adică un sistem de linii spectrale cu lungimile de undă bine definite. În felul acesta avem posibilitatea de a cerceta nivelurile de energie ale nucleului.

Să revenim la tabelul genealogic al uraniului I. Vedem că uraniul II, după două transformări succesive, determinate de emiterea particulelor alfa, duce la *radiu* (Ra, numărul de ordine 88), un element descoperit de Pierre Curie şi soţia sa Maria Skłodowska-Curie. Radiul are caracteristici foarte puternice de radioactivitate, iar timpul său de înjumătăţire este de aproximativ 1 600 de ani. Urmaşul radiului este *emanaţia sau radonul* (Rn, numărul de ordine 86). Compararea cu tabelul lui Mendeleev ne va convinge că acest element este un gaz nobil, ai cărui atomi conţin pe orbita periferică octetul stabil de electroni. După o viaţă scurtă (timp de înjumătăţire) de aproximativ 4 zile, ia naştere din acest gaz nobil numit radon, un alt urmaş radioactiv numit *radiu A*, la care observăm o ramificaţie caracteristică. Unii atomi ai acestui element emit particule alfa dînd *radiul B*, mutat, în raport cu radiul A, cu două căsuţe la stînga în tabelul lui Mendeleev, iar alţii emit electroni (raze β) şi duc la *astatiniu* (numărul de ordine 85), mutat cu un pătrăţel mai la dreapta în tabelul sistemului periodic, într-un loc care multă vreme n-a fost ocupat. Timpurile de înjumătăţire la ambele tipuri de dezintegrare sînt de aproximativ 3 minute. Nu vom trata aici amănunţit întregul tabel genealogic al uraniului. Să ne îndreptăm atenţia numai asupra ultimului descendent al acestei familii. Acesta este *radiul G*. La acest element nu s-a descoperit nici una din proprietăţile radioactive şi de aceea noi spunem că acesta este ultimul urmaş al familiei radioactive, care descinde din uraniu. El are o viaţă veşnică. Numărul de ordine al radiului G este 82. Pătrăţelul corespunzător din tabelul lui Mendeleev este rezervat pentru *plumb*. *Radiul G este deci un izotop al plumbului.*

Alături de tabelul genealogic al uraniului am mai prezentat şi tabelele altor două familii radioactive, care descind din *toriu* şi *protactiniu*. Ele sînt alcătuite la fel. Şi aici ultimii descendenţi ai acestor familii sînt elemente cu numărul de ordine 82, deci alţi doi izotopi ai plumbului. Plumbul constituie deci ultima etapă a transformărilor

radioactive cu care am făcut cunoştinţă aici. Numerele de masă ale acestor izotopi ai plumbului nu sînt egale. Ele sînt *Radiu G* = 206, *Toriu D* = 208, *Actiniu D* = 207. Plumbul obişnuit este un amestec al acestor trei izotopi, iar greutatea atomică medie a lui este de 207,21. Pe pămînt există roci bogate atît în *uraniu*, cît şi în *toriu*. În aceste roci au loc continuu procese de dezintegrare radioactivă şi alături de uraniu şi de toriu trebuie să existe şi produsele acestor transmutaţii. Oare plumbul din roca cu uraniu, găsit acolo ca ultimul rezultat al dezintegrării radioactive, are într-adevăr greutatea atomică mai mică decît plumbul găsit în roca de toriu? Explorările geologice, străduinţa de a găsi zăcăminte minerale corespunzătoare şi de a stabili cît de mare este greutatea atomică a urmaşilor acestor familii, au dus la frumoase rezultate experimentale. S-a stabilit astfel că descendentul uraniului are în adevăr o greutate atomică mai mică decît descendentul toriului.

Să rezumăm pe scurt rezultatele obţinute. Dezintegrarea radioactivă este însoţită de emisia de raze *alfa* (nuclee de heliu) sau de raze *beta* (electroni). În urma perturbărilor determinate de emisia particulei alfa sau a electronului, nucleul rămas sau nou-născut se găseşte într-o stare de excitaţie, iar trecerea la starea normală este însoţită de emisia de raze gamma.

Pe de altă parte, un nucleu de heliu (particulă alfa) expulzat din nucleul atomului radioactiv, îşi completează imediat edificiul său atomic, atrăgînd în sfera lui de acţiune doi electroni liberi pe care-i sileşte să circule pe orbitele sale cuantice. De aceea, elementele radioactive sînt însoţite întotdeauna de formarea heliului.

Prin emisia razelor *alfa* numărul de masă ale elementului rezultat se micşorează cu 4 unităţi şi în tabelul lui Mendeleev se mută cu două căsuţe la *stînga* faţă de elementul iniţial. Prin emisia *razelor beta*, numărul de masă al elementului rezultat nu se schimbă, însă în tabelul elementelor el se mută cu o căsuţă la *dreapta*. Aceste vestite *legi ale deplasărilor*, arătate aici, au fost formulate în 1913, aproape în acelaşi timp, de către Fajans şi Soddy.

Dezvoltarea ştiinţei despre fenomenele radioactive şi despre legile care stau la baza lor a permis înţelegerea multor probleme legate de structura nucleului atomic şi a fenomene-

lor care se petrec în interiorul lui. Această știință este astăzi foarte vastă și nu putem prezenta aici nici măcar o parte din realizările ei. Totuși nu putem trece cu vederea încă o descoperire importantă, la care a dus cercetarea fenomenelor radioactivității.

Știm că analiza razelor gamma a arătat existența unui spectru discontinuu al acestor raze, ducînd astfel la concluzia existenței energiilor discontinue, cuantizate, ale nivelurilor de energie ale nucleului. Prin analogie, era de așteptat ca și energiile particulelor alfa sau ale electronilor emiși de nucleu să aibă valori discontinue bine determinate. S-a văzut, în adevăr, că toate particulele alfa emise în cursul dezintegrării radioactive a atomilor unui element prezintă aceeași energie bine determinată. Această energie diferă de la o dezintegrare radioactivă la alta. În anumite cazuri, ea poate avea chiar cîteva valori care depind de nivelul de energie pînă la care a ajuns excitarea nucleului. Așadar, noi știm că spectrul razelor gamma emise (mai tîrziu) de nucleu, prezintă un caracter discontinuu liniar.

Cercetări similare efectuate asupra razelor beta au dus la un rezultat neașteptat. S-a văzut, de exemplu, că energia pe care o transportă razele beta dă un spectru continuu. Într-un fascicul de raze beta există electroni cu cele mai variate energii. Am spus mai înainte că viteza electronilor emiși de nuclee este foarte mare și se apropie de viteza luminii. Acest fenomen trebuie înțeles în felul următor: majoritatea electronilor are această viteză enormă. Totuși, în radiațiile beta există atît electroni cu viteză foarte mică cît și electroni care au cele mai variate viteze intermediare. Tocmai aici apare dificultatea esențială. Cum se poate împăca spectrul energetic continuu al razelor beta, cu existența nivelurilor discontinue ale nucleului atomic?

Nucleul, după emisiunea electronului, trece la un nivel de energie bine definit, prin urmare electronul trebuia să fi fost expulzat cu o energie bine determinată. Dar experiența neagă în mod clar acest lucru. Dorind să găsim o ieșire rezonabilă din această situație dificilă, trebuie să admitem că o parte din energie părăsește nucleul pe altă cale. Așadar, electronul emis nu posedă întreaga energie eliberată de nucleu, ci numai o parte a ei, luată la întîmplare.

Pentru a explica pe ce cale scapă din nucleu energia rămasă, Pauli enunţă ipoteza că în acelaşi timp cu emisia electronului mai este emisă din nucleu încă o particulă, pe care el a numit-o *neutrino*. Neutrino pare să fie un fel de neutron micşorat de mai multe ori, căci el nu posedă sarcină electrică, iar masa lui este extraordinar de mică, cu mult mai mică decît masa electronului. După spusele lui Pauli, neutrino este emis din nucleu cu o energie atît de mare, încît adaugînd-o la energia electronului emis de acelaşi nucleu şi în aceeaşi clipă, obţinem pentru dezintegrarea respectivă întotdeauna aceeaşi valoare în concordanţă cu existenţa nivelurilor de energie discontinue ale nucleului. Această ipoteză explică într-adevăr, atît spectrul continuu al razelor beta cît şi alte dificultăţi legate de emisia electronilor de către nuclee. Totuşi, proprietăţile care trebuiau atribuite neutrinului erau de aşa natură, încît în ciuda multor încercări nu se putea stabili existenţa acestei particule cu ajutorul experienţei. Abia în anul 1956 succesul a încununat teoria lui Pauli. Savanţii americani Reinen şi Cowan au reuşit să dovedească pe cale directă, existenţa neutrinului.

Vedem aici din nou trăsăturile caracteristice, atît de cunoscute în evoluţia ştiinţei. Întîi luăm cunoştinţă despre anumite date experimentale, care nu se pot împăca cu concepţia teoretică actuală despre fenomenele respective. Apoi apare o ideie teoretică nouă, care schimbă această concepţie, explică toate datele experimentale cunoscute şi prezice anumite fapte noi, care ulterior sînt confirmate de experienţă şi o dată cu aceasta se dovedeşte atît justeţea teoriei cît şi a concepţiei despre alcătuirea lumii înconjurătoare.

În încheiere vom ilustra cu încă un exemplu importanţa cunoaşterii radioactivităţii în dezvoltarea altor domenii ale ştiinţei. Am arătat mai înainte că ultima verigă a lanţurilor de transformări, care reprezintă familiile radioactive ale: *uraniului*, *toriului* şi *protactiniului*, este *plumbul*, pe care-l găsim în rocile sau în zăcămintele scoarţei terestre, unde a luat naştere în urma transformărilor radioactive ale elementelor de mai sus. După cantitatea de plumb conţinut în astfel de zăcăminte, se poate deduce *vîrsta lor*. Cunoaştem de exemplu timpul de înjumătăţire pentru întregul lanţ cauzal de transformări radioactive care au dus la formarea plumbului şi pe baza lui putem calcula timpul în care

puteau lua naştere cantităţile de plumb care coexistă simultan cu uraniul. În felul acesta putem aprecia vîrsta atît a zăcămintelor de uraniu, cît şi a altor zăcăminte care conţin elemente radioactive. Astfel, obţinem numărul de 5 miliarde de ani. Prin urmare, cu aproximativ 5 miliarde de ani în urmă scoarţa terestră a început să se solidifice, iar zăcămintele minerale au început să se formeze.

Acest exemplu ne arată în ce mod realizările fizicii pătrund victorios în alte domenii ale ştiinţei. Fizica creează un instrument nou de gîndire şi de muncă pentru geologi, biologi şi medici.

Transformările artificiale ale elementelor

Străduinţele de multe secole ale alchimiştilor de a obţine, în mojare şi retorte, aur — prin topirea la un loc a metalelor sau mineralelor, prin distilare, extragere sau alte procese chimice — n-au dus la rezultatul dorit.

Ştim bine care era cauza acestor insuccese. Toate procesele chimice, chiar şi cele mai energice şi cele mai violente, pot ataca numai electronii planetari ai atomului. Nucleul atomic, care determină felul elementului cu care avem de-a face, nu suferă nici cea mai mică schimbare în cursul acelor procese.

S-ar părea totuşi că fizica de astăzi ne va permite să realizăm cu uşurinţă visul alchimiştilor. E suficient să alipim unui nucleu oarecare unul sau mai mulţi protoni, pentru a obţine un atom al unui alt element. Dar cum să ajungem pînă la acest nucleu? Dispunem oare de mijloace care ne-ar permite să transformăm şi să modificăm după voie un nucleu? Unde este acea baghetă magică ce ar putea determina transformarea elementelor unul în altul, înmormîntînd fără drept de apel concepţiile vechi despre imuabilitatea elementelor? Putem noi oare să păşim dincolo de cadrul elementelor spontan-radioactive ale tabelului lui Mendeleev, pentru a sili şi alte elemente să-şi transforme structura nucleului lor? Totuşi minunea s-a săvîrşit.

Rutherford a fost primul care a săvîrşit această minune, în anul 1919. Ştim că un fascicul de proiectile electronice, lovind un atom, produce ionizarea lui. Proiectilele electronice cu energie mare sînt capabile în acest caz să arunce

afară, dincolo de sfera de acţiune a atomului, chiar şi electronii care circulă pe păturile interioare *K* şi *L*. Proiectilele electronice care ar putea modifica însă un nucleu ar trebui să aibă energia (masa şi viteza) cu mult mai mare. Ideea conducătoare a lui Rutherford a fost: bombardarea atomului cu proiectile grele şi rapide. Într-un număr foarte mare de proiectile, trebuie să existe măcar cîteva care să lovească în plin, nimerind în inima atomului, adică în nucleul lui. De unde să luăm aceste proiectile grele şi rapide? Natura însăşi ne vine în ajutor. Tocmai particulele alfa emise de radiu sînt acele proiectile cu energie mare, căci masa unei astfel de particule (nucleu de heliu) este de peste 7 000 de ori mai mare decît masa unui electron. Ideea conducătoare a experienţei lui Rutherford poate fi înţeleasă cu uşurinţă. Bombardăm de exemplu atomii de azot ($_7N^{14}$) cu particulele alfa, emise de radiu. Numărul loviturilor în plin este fireşte foarte mic. Noi bombardăm orbeşte cu aceste proiectile. Totuşi numai un procentaj mic de proiectile va trece atît de aproape pe lîngă nucleul azotului, încît să provoace o catastrofă.

În ce constă această catastrofă? Din nucleul lovit în plin de proiectilul alfa este scoasă una din cărămizile ce intră în alcătuirea nucleului, de exemplu un proton, care după cum ştim, este nucleul atomului de hidrogen.

Aşadar, bombardînd azotul cu particule alfa şi prin lovituri în plin, silim nucleul atomic al acestui element să elimine un proton din interiorul său. Prin urmare, din azot putem obţine *hidrogen*! Proiectilele protonice care provin din atomii azotului astfel sfărîmaţi se împrăştie în toate părţile. Fenomenul acesta se poate compara cu o explozie în care proiectilele alfa se comportă ca un fel de fitil aprins, aruncat cu dibăcie în inima atomului.

Aceeaşi experienţă a fost repetată cu multe alte elemente şi în multe cazuri s-a constatat aceeaşi emisiune caracteristică de particule protonice (nuclee de hidrogen) provenite din nucleele atomice ale respectivului element bombardat cu raze alfa. Acest fenomen apare deosebit de clar în cazul aluminiului. Protonul (nucleu de hidrogen), ieşind din atomul de aluminiu, are o energie mai mare decît particula alfa care i-a lovit nucleul. Nu contravine cumva acest fenomen principiului conservării energiei?

Din punct de vedere energetic, s-ar părea că aici avem transformarea energiei de mişcare a particulei alfa, în energia de mişcare a protonului emis. Dar nu este aşa. Am comparat mai înainte acest fenomen cu explozia provocată de un fitil aprins aruncat înăuntrul atomului. Înseamnă că particula alfa *eliberează energia atomică internă, adică energia nucleară a elementului*. Energia internă a nucleului de aluminiu este sursa de la care provine surplusul de energie constatat la protonul emis. Energia de mişcare a protonului creşte în contul micşorării masei nucleului de aluminiu.

Aceste experienţe erau atît de uluitoare, încît toţi le apreciau cu multă precauţie şi cu foarte mare prudenţă, iar unii chiar cu oarecare scepticism. Avem aici într-adevăr o spargere a nucleului? Gazul bombardat este oare în adevăr sursa protonilor emişi? Nu cumva această cauză este o simplă impurificare cu hidrogen? Nu vom descrie aici cercetările migăloase şi amănunţite pe care fizicienii le-au făcut în această direcţie. Este suficient să spunem că rezultatele acestor cercetări au spulberat orice îndoială. Avem de-a face într-adevăr cu dezintegrarea artificială a nucleelor atomice.

Emisia protonilor prin bombardarea nucleelor cu particule alfa s-a obţinut la multe elemente. Nu le vom enumera aici. Mai bine să ne îndreptăm atenţia asupra elementelor care se opuneau încercărilor lui Rutherford. Rutherford n-a reuşit să spargă nucleele elementelor cu numere de ordine mai mari decît 20. Acest lucru se poate înţelege uşor. Dacă nucleul atomic are o sarcină electrică mare, el respinge puternic particulele alfa care au tot sarcină pozitivă şi face imposibilă pătrunderea acestor particule în nucleu. Dar şi elementele cele mai uşoare, *litiul* şi *beriliul*, s-au dovedit rezistente la bombardamentul cu particule alfa. În sfîrşit, ceea ce este foarte caracteristic, n-au cedat bombardamentului cu proiectile alfa nici nucleele de *heliu* (numărul de ordine 2, numărul de masă 4), de *carbon* (numărul de ordine 6, numărul de masă 12) şi de *oxigen* (numărul de ordine 8, numărul de masă 16). Să ne gîndim însă că nucleele citate sînt alcătuite din numere *perechi* de protoni şi neutroni. Ne-am putea închipui deci că nucleul carbonului este alcătuit din 3, iar nucleul de oxigen din 4 particule alfa. Particulele alfa sînt însă unităţi stabile şi bine cimentate

în edificiul nuclear. Experiența a arătat că energia particulelor alfa emise de radiu nu este suficientă pentru spargerea nucleelor acestor elemente. Din această rezistență a lor putem în adevăr deduce că în nucleele atomice ale acestor elemente, protonii și neutronii se unesc în particule alfa foarte stabile și bine cimentate între ele. Spargerea lor ar necesita, deci, o energie cu mult mai mare decît aceea pe care o au radiațiile alfa provenite din dezintegrarea spontană a elementelor radioactive.

Să cercetăm acum ce se petrece cu nucleul care bombardat cu razele alfa emite protoni. Să luăm ca exemplu nucleul atomului de azot, cu numărul de ordine 7 și numărul de masă 14. El este compus deci din 7 protoni și 7 neutroni. În urma ciocnirii acestui nucleu cu o particulă alfa, este eliminat un proton. Ne punem întrebarea, care este soarta ulterioară a proiectilului alfa care a determinat această catastrofă? Ce se petrece cu particula alfa după ciocnire? Experiența a dat răspunsul la această întrebare. *Proiectilul alfa rămîne fixat în nucleul pe care l-a lovit.* Din atomul azotului obținem un atom de hidrogen și un atom al unui alt element. În ce element se transformă azotul? Să adăugăm la cei 7 protoni și 7 neutroni, care constituie nucleul atomului de azot, pe cei 2 protoni și 2 neutroni ai particulei alfa (nucleu de heliu) și apoi să scădem un proton (nucleu de hidrogen) emis sub formă de radiație și vom obține răspunsul la întrebarea pusă. Ne vom convinge că nucleul noului element constă din 8 protoni și 9 neutroni. Va fi deci un element cu numărul de ordine 8 și numărul de masă 17. Dar elementul cu numărul de ordine 8 este oxigenul. Am obținut, prin urmare, un atom de oxigen sau, mai precis, un izotop al oxigenului cu numărul de masă 17. Acest izotop este relativ rar — la 2 500 de atomi de oxigen cu numărul de masă 16, apare numai un atom cu numărul de masă 17 — dar tocmai acest izotop ia naștere în urma transformării nucleului azotului. Proiectilele alfa care nimeresc în plin transformă deci azotul în *hidrogen* și *oxigen.* Mai putem adăuga că existența izotopului oxigenului cu numărul de masă 17 a fost constatată pentru prima oară în experiențele lui Rutherford. Abia mai tîrziu, cercetîndu-se spectrul moleculei de oxigen, s-a constatat că acest izotop există și în oxigenul din natură.

Experienţele lui Rutherford au demonstrat că nu numai *natura*, în cursul fenomenelor de radioactivitate spontană, ci şi *omul*, în laboratorul său, poate sfărîma partea cea mai trainică a atomului, adică nucleul său. Totuşi, această posibilitate era foarte redusă. Particulele alfa provocau numai

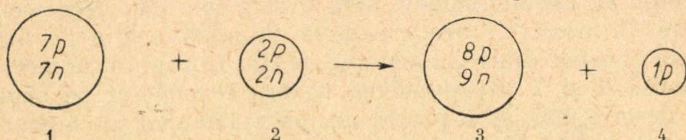


Fig. 32 Transformarea nucleului de azot în nucleu de oxigen.
1 — nucleul de azot
2 — particulă alfa
3 — nucleu de oxigen
4 — proton

un singur tip de transformare, şi anume o transformare cu emisie de hidrogen. În afară de aceasta, mulţi atomi rezistau la acţiunea lor. De aici putea să rezulte numai o singură concluzie: dacă vom folosi alte proiectile pentru bombardarea nucleelor atomice, atunci vom putea provoca şi alte transformări; trebuie să vedem cum se poate imprima acestor proiectile o viteză mai mare, adică o energie mai mare, care să determine spargerea nucleelor celor mai stabile. Realizînd acest program, vom putea să pătrundem în partea cea mai internă a atomului, vom putea smulge naturii acele taine pe care le-a ascuns în nucleul atomic, vom cuceri cetatea care rezistă atît de mult atacurilor noastre. Doi tineri fizicieni englezi, Cockcroft şi Walton, au făcut primul pas în această direcţie în anul 1932, chiar în laboratorul lui Rutherford.

Experienţa lui Rutherford discutată mai sus se poate reprezenta în general în felul următor:

nucleul atomului + proiectilul alfa = nucleul unui alt atom + un proton emis.

Experienţele lui Cockcroft şi Walton inversează oarecum şi completează experienţele lui Rutherford. Rezultatele lor se pot rezuma în următoarea propoziţie: *atomul unui element bombardat cu protoni expulzează nuclee de heliu.* Aceste experienţe răstoarnă ecuaţia alchimistică scrisă înainte, aşa că acuma o putem reprezenta în felul următor:

nucleul atomului + proiectilul protonic = nucleul unui alt atom + + particula alfa emisă.

Comparînd ambele ecuații, ne vom convinge că rolurile părților din stînga și din dreapta ale ecuațiilor au fost pur și simplu schimbate. Să analizăm mai de aproape experiențele realizate în laboratorul din Cambridge.

Litiul este, după cum știm, al treilea element în tabelul periodic al lui Mendeleev, unul dintre cele mai ușoare elemente chimice. El are greutatea atomică medie de 6,94 și este compus dintr-un amestec de doi izotopi cu numerele de masă 6 și 7. Răspunderea pentru fenomenul pe care-l vom descrie mai jos o poartă exclusiv izotopul cu numărul de masă 7. Vom raționa prin urmare așa ca și cînd ar exista numai acest izotop (de altfel litiul conține un procent cu mult mai mare de izotopi 7 decît de izotopi cu numărul de masă 6). Ne amintim că litiul făcea parte din cele cîteva elemente mai ușoare, care se apărau viguros împotriva proiectilelor alfa. Bombardarea litiului cu proectile de heliu nu provoca emisia de protoni. S-ar părea că proiectilele alfa au o energie prea mică, deoarece nu putem sparge nucleul de litiu cu ele. O astfel de concluzie ar fi totuși nejustificată.

Să încercăm să bombardăm litiul cu proiectile mai ușoare, deci cu o energie mai mică, dar de altă natură. Proiectilele *protonice* mai sărace în energie vor da un efect nou, neașteptat.

Putem prepara proiectile protonice în laboratoare, într-un mod foarte simplu. Este suficient să îndepărtăm din atomul de hidrogen electronul planetar (cu ajutorul bombardamentului electronic), iar protonul rămas să fie supus la acțiunea unui cîmp electric care să-l accelereze. Cîmpurile electrice puternice ne vor da posibilitatea să obținem proiectile protonice cu energii relativ mari.

În experiențele pe care le descriem, în ciuda unui cîmp accelerator puternic, energia acestor proiectile protonice era totuși mică în comparație cu energia razelor alfa emise prin radioactivitatea spontană. Bombardăm litiul cu aceste proiectile protonice. Și iată, fiecare lovitură în plin determină o catastrofă în atomul lovit. Fiecare lovitură în plin determină oarecum o explozie a nucleului: din nucleul litiului zboară afară două particule alfa cu o energie uriașă.

Cum să explicăm această transformare alchimistică? Numărul de ordine al litiului este 3, iar numărul de masă al izotopului care ne interesează este 7. Nucleul lui este

compus deci din 3 protoni și 4 neutroni. Bombardînd litiul cu protoni, un proton lovind în plin se va opri în nucleu. Vom obține un nucleu atomic nou. Care va fi componența lui? Aceeași ca și înainte, plus un proton, deci patru protoni și patru neutroni. Dar patru protoni plus patru neutroni constituie două particule alfa. Putem formula acum rezultatul final în modul următor:

1 nucleu de litiu + 1 proton = 2 particule alfa.

Această ecuație explică rezultatul frumoaselor experiențe ale lui Cockcroft și Walton. Dintr-un atom de litiu și un atom de hidrogen obținem doi atomi de heliu. Însă cel mai mult ne uimește aici aspectul energetic al acestui fenomen. Cele două particule alfa rezultate au o viteză foarte mare. S-ar părea că energia de mișcare a celor 2 proiectile de heliu expulzate ar trebui să fie egală cu energia de mișcare a proiectilului protonic. Tocmai aici se vede acel fapt uluitor. *Energia obținută este cu mult mai mare decît cea introdusă!* Putem obține proiectile de heliu cu o energie de mai multe ori mai mare decît energia pe care o avea protonul care a provocat explozia. Am amintit mai sus spargerea nucleului de aluminiu. Energia protonului emis în cazul acela era mai mare decît energia proiectilului folosit la bombardare. Totuși, cîștigul realizat nu era prea mare. Aici în schimb întîlnim pentru prima oară un proces în care se eliberează energii uriașe, al căror sediu este nucleul atomic. Aici proiectilul protonic este tocmai cărămida care lipsește pentru construirea unui al doilea nucleu al heliului. Știm însă că actul de formare a nucleului de heliu este însoțit de scăderea masei, de emisia energiei în afara sistemului. Noi sîntem martori ai acestui act de creație în experiențele descrise aici. Să comparăm masele atomilor care iau parte la ciocnire:

masa atomului de hidrogen = 1,008
masa atomului de litiu = 7,018

---

suma maselor atomice înainte de ciocnire = 8,026
suma maselor atomice după ciocnire = masa a doi atomi de heliu = 2 × 4,003 = 8,006.

Diferența de masă care apare aici este cauza evidentă care face ca particulele alfa expulzate să fie emise cu o energie cu mult mai mare decît energia protonului incident. Dar pierde-

rea masei este o garanție că sistemul obținut este trainic deoarece transformarea inversă, care ar duce înapoi la formarea atomilor de litiu și hidrogen, ar cere cheltuirea unei energii cu mult mai mari decît aceea pe care o posedă proiectilele protonice.

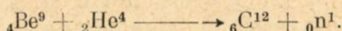
Experiențele lui Cockcroft și Walton au demonstrat că nucleul atomic poate deveni sursa unei energii uriașe; dar ele nu ne arată calea care să ne ducă la utilizarea ei practică. Știm că un proiectil ce nimerește în plin este într-adevăr un cîștig mare, care ne înapoiază miza însutită. Această miză este plătită de energia nucleului de litiu. Dar un astfel de cîștig revine numai la unul din o sută de milioane de lozuri. Numai o singură lovitură din o sută de milioane este precisă și nimerește în nucleu, în inima atomului. Celelalte proiectile constituie muniția irosită. Cîștigul uriaș de energie în stadiul acesta al cercetărilor este pur teoretic.

Să vorbim acum despre descoperirea neutronilor, particule bine cunoscute de noi, care constituie, alături de protoni, al doilea fel de cărămizi din care este construit nucleul atomic. Această descoperire se leagă strîns de problemele pe care le-am tratat aici. Știm că nucleele de heliu și de litiu, precum și nucleul de beriliu, bombardate cu *raze alfa*, nu manifestau emisia protonilor. Dar aceasta nu înseamnă că aceste nuclee nu se supuneau acțiunii proiectilelor alfa. Bothe și Becker și mai tîrziu Irène și Frédéric Joliot-Curie, la unsprezece ani după primele experiențe ale lui Rutherford, au constatat că *beriliul* bombardat cu *proiectile rapide alfa* devine izvorul unor radiații noi, enigmatice. Nu se putea atribui acestor radiații nici o etichetă cunoscută. S-a constatat însă cu siguranță că nu sînt nici electroni, nici protoni, nici particule alfa. În sprijinul acestui fapt pleda marea penetranță a acestor radiații. Plăcile metalice groase nu constituie pentru ele nici o piedică. În această privință ele amintesc mai degrabă de radiațiile electromagnetice — în felul razelor gamma — cu lungimi de undă mici. Inițial se presupunea că ele ar fi un tip de radiații gamma, deși multe fenomene pledau împotriva acestei concepții.

Dezlegarea acestei enigme o datorăm lui Chadwick, unul dintre elevii lui Rutherford. El a stabilit că aceste radiații constau din particule cu o masă mare, care nu

diferă mult de masa protonului, dar nu prezintă nici un fel de sarcină electrică. Tocmai aceste particule au primit numele de neutroni. Cîtva timp după descoperirea lor, fizicianul Heisenberg a emis ipoteza, dezvoltată independent și de Ivanenko, fizician sovietic, că neutronii și protonii sînt componentele de bază ale nucleului atomic. Această concepție sprijinită mai tîrziu de datele noi ale experienței, este astăzi acceptată — după cum se știe — de toată lumea.

Să răspundem la încă o întrebare: ce fel de transformare chimică însoțește emisia neutronilor de către beriliu? Dacă experiența ne spune că în nucleul de beriliu a intrat particula alfa și a ieșit afară un neutron, putem deduce cu ușurință ce transformare a avut loc. Adăugînd la patru protoni și cinci neutroni, din care se compune nucleul de beriliu, încă doi protoni și doi neutroni, din care se compune particula alfa, și scăzînd apoi un neutron emis sub formă de radiație, ajungem la concluzia că în urma transformării a luat naștere un nucleu alcătuit din șase protoni și șase neutroni. Acesta este un element cu numărul de ordine șase și numărul de masă 12, adică carbonul. *Beriliul* bombardat cu particule alfa se transformă deci în carbon emițînd un neutron după ecuația:



$$_4Be^9 + {}_2He^4 \longrightarrow {}_6C^{12} + {}_0n^1.$$

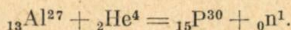
Înțelegem de ce radiațiile neutronice sînt foarte penetrante. Metalul, sau orice altă substanță, este compus dintr-un mare număr de electroni și de nuclee atomice. Neutronul este electric neutru, deci cîmpurile electrice ale nucleelor și ale electronilor respectivi nu vor deforma traiectoria sa, așa cum o deformează pe cea a particulelor care posedă sarcină electrică. Datorită acestui fapt, neutronii trec cu mult mai ușor prin materie decît particulele cu sarcini electrice. Știm de asemenea că spargerea cu raze alfa a nucleelor grele nu a dat rezultate. Cauza este tocmai respingerea puternică a particulei alfa de către sarcina electrică a nucleului. Această respingere nu va mai avea loc dacă particulele alfa vor fi înlocuite cu neutroni. Datorită neutronilor, obținem o metodă nouă de bombardare a nucleelor atomice și de transformare a elementelor.

Radioactivitatea artificială

După primele rezultate senzaţionale ale experienţelor lui Rutherford, în multe laboratoare de fizică au început lucrări pentru transformarea artificială a nucleelor atomice. Unul din principalele centre de cercetări a fost Institutul de Radiu din Paris întemeiat de Maria Skłodowska-Curie. Lucrările efectuate în acest institut de către soţii Irène şi Frédéric Joliot-Curie (1934) au dat naştere unui nou capitol al fizicii, numit *fizica nucleară*.

Bombardarea beriliului cu particulele alfa a dus, după cum ştim, la descoperirea neutronilor. Soţii Joliot-Curie au început să cerceteze fenomenul şi la alte elemente, care bombardate cu nuclee de heliu emiteau alte radiaţii decît cele protonice, observate în experienţele clasice ale lui Rutherford. În acest scop au ales *aluminiul*. Bombardînd nucleul de aluminiu (numărul de ordine 13, numărul de masă 27) cu particule alfa, ei au observat şi în acest caz, emisia *neutronilor*. Aluminiul se comportă deci la fel ca beriliul. Să vedem însă ce element ia naştere în cursul acestei transformări.

Cunoscînd numărul de ordine şi de masă al elementului iniţial, în speţă al aluminiului, vom constata foarte uşor că adăugîndu-i un nucleu de heliu şi scăzînd neutronul emis, trebuie să obţinem un element cu numărul de ordine 15 şi numărul de masă 30. Aruncînd acum privirea asupra tabelului lui Mendeleev, identificăm acest element nou cu *fosforul*, care a luat naştere după *reacţia nucleară*:



$$_{13}Al^{27} + {}_{2}He^{4} = {}_{15}P^{30} + {}_{0}n^{1}.$$

Nu ne mai miră faptul că din aluminiu putem obţine fosfor şi n-ar fi nimic revelator în acest rezultat.

Însă în natură, izotopul fosforului cu numărul de masă 30 nu există nicăieri! Care să fie cauza că acest izotop al fosforului nu există în natură? Sau poate nu este tocmai el acela care apare în reacţia nucleară de mai sus?

Răspunsul la aceste întrebări a fost dat tot de către soţii Joliot-Curie. Cercetînd radiaţiile emise de aluminiul bombardat cu particule alfa, ei au constatat că aceste radiaţi sînt compuse nu numai din neutroni. În experienţele lor apărea încă o radiaţie, care s-a dovedit că era un torent

de *pozitroni*, descoperiți mai înainte. Mai mult: cînd s-a întrerupt expunerea aluminiului la razele alfa, emisia neutronilor a încetat și ea imediat, pe cînd emisia pozitronilor continua să se producă. Cu timpul, emisia pozitronilor scădea treptat pînă la dispariție.

Nu vom descrie aici cercetările amănunțite și precise pe baza cărora soții Joliot-Curie au confirmat ipoteza emisă de ei. Prin aceste cercetări s-a dovedit că *bombardarea aluminiului cu raze alfa dă naștere izotopului radioactiv al fosforului*, care se descompune emițînd *pozitroni!* Radioactivitatea nu este prin urmare o proprietate caracteristică numai ultimelor elemente ale sistemului periodic. Putem produce *izotopi radioactivi artificiali* cu ajutorul elementelor ușoare! Întîlnim însă aici un tip nou de radioactivitate. Ce se naște în urma descompunerii nucleului de fosfor? Știm că nucleul nu conține nici electroni, nici pozitroni. În cazul radioactivității din care rezultă *electroni*, acești electroni apar, cum am arătat la pagina 203 în urma dezintegrării neutronilor din nucleu, după schema:

neutron ———→ proton + electron.

Prin analogie ne putem imagina un proces în care dintr-un proton va rezulta un pozitron și un neutron:

proton ———→ neutron + pozitron.

În această transformare, la fel ca și în cea precedentă, nu se naște și nu se pierde nici o sarcină electrică, căci protonul are sarcina pozitivă egală cu a pozitronului, iar neutronul n-are sarcină (este neutru).

Să ne amintim însă de calculele de la pagina 203 referitoare la schimbarea masei, care apare în urma primei transformări: masa neutronului este mai mare decît suma maselor protonului și a electronului. Datorită acestui fapt, dezintegrarea neutronului poate avea loc *în mod spontan*, scăderea masei fiind însoțită de *degajare* de energie. Dimpotrivă, în cazul transformării protonului într-un neutron și un pozitron, situația este inversă: masa pozitronului fiind egală cu masa electronului, rezultă că suma maselor neutronului și pozitronului va fi mai mare decît masa protonului. Înseamnă deci că, pentru a face posibilă o astfel de transformare, sîntem nevoiți să introducem un plus de energie echivalent

cu creşterea masei. Prin urmare, protonul nu se poate *dezintegra spontan* în neutron și pozitron, dar acest fenomen se poate efectua în interiorul nucleului, în contul energiei interne nucleare. Tocmai acest fel de transformare îl observăm la producerea izotopului radioactiv al fosforului.

Vom şti acum să spunem fără nici o dificultate ce element rezultă din dezintegrarea acestui izotop. Transformarea unui proton în neutron, cu emiterea unui pozitron, *va reduce sarcina* nucleului cu o unitate, lăsînd numărul de masă neschimbat. În tabelul lui Mendeleev ne vom muta deci cu o căsuţă la stînga şi *vom obţine un izotop al siliciului* cu numărul de masă 30, adică unul din acei izotopi care există în natură. S-a măsurat perioada de înjumătăţire a izotopului de fosfor radioactiv descoperit. Ea este de 2,5 minute. Această descompunere rapidă a nucleului său explică faptul că nu-l descoperim în natură.

Izotopul fosforului radioactiv, cu numărul de masă 30, nu s-a bucurat mult timp de gloria de a fi unicul izotop radioactiv obţinut pe cale artificială. Imediat au fost produşi mulţi alţi izotopi. Dezvoltarea tehnicii experimentale a deschis drumul unor noi şi mari posibilităţi. În experienţele lui Cockcroft şi Walton întîlnim pentru prima oară aparate care ne fac să nu mai avem nevoie de proiectile naturale, adică de proiectilele pe care natura ni le pune la dispoziţie sub formă de raze alfa. Astăzi putem construi instalaţii în care *cîmpuri electromagnetice* puternice imprimă particulelor cu sarcini electrice, de exemplu *protonilor*, o energie de mişcare de o mie de ori mai mare decît aceea pe care o au particulele alfa emise de radiu. Am spus deja că datorită acestor instalaţii a fost descoperit *antiprotonul* în anul 1955. Cu astfel de energii mari a fost posibilă pătrunderea pînă şi în interiorul nucleelor celor mai grele, prin învingerea forţei de respingere exercitată de sarcina acestor nuclee asupra proiectilelor.

Nu ne vom ocupa aici de toţi izotopii radioactivi obţinuţi artificial. Vom aminti numai că astăzi cunoaştem aproape o mie de izotopi radioactivi artificiali, care cuprind toate elementele, începînd cu elementul cel mai uşor care este hidrogenul! Realizările ştiinţei de azi întrec orice închipuire a alchimiştilor. Încă nu fabricăm la scară tehnică *aur* din alte elemente, însă căsuţa 79 din tabelul lui Mende-

deleev, prevăzută cu simbolul Au, care cuprindea înainte numai un izotop al aurului — și anume pe acela care există în natură — s-a îmbogățit astăzi cu 12 izotopi radioactivi obținuți pe cale artificială. Izotopii radioactivi se folosesc astăzi în nenumărate aplicații în chimie, biologie, medicină și în tehnică.

Vom trece la ultimele elemente ale sistemului periodic. Tabelul lui Mendeleev se încheia încă în anul 1939 cu *uraniul* — elementul cu numărul de ordine 92. Acest fapt era foarte interesant. De ce tocmai *uraniul* este elementul cel mai greu? Cum se explică faptul că nu există un element care să conțină în nucleu un proton mai mult decît uraniul? Calculele teoretice prevedeau, de exemplu, că ar trebui să existe elemente cu un număr de ordine mai mare decît 100. Deci nu e de mirare că mulți cercetători și-au concentrat eforturile ca să producă artificial elemente mai grele decît uraniul. Ideea conducătoare a acestor cercetări poate fi înțeleasă ușor. E suficient să bombardăm nucleele de uraniu cu particule alfa sau cu protoni și dacă reușim să introducem aceste particule în interiorul nucleului, sarcina nucleului va crește, iar elementul obținut va fi situat în tabelul lui Mendeleev la *dreapta*, adică acolo unde erau pînă acum numai locuri goale. Totuși, nucleul de uraniu nu voia să cedeze.

Dar neutronii au venit imediat în ajutor. Am arătat mai înainte că neutronii, fiind particule electric neutre, pot pătrunde cu ușurință în nucleele atomice. Izotopul uraniului, cel cu numărul de masă 238 — care în uraniul natural se află în procentul cel mai mare — emite după cum știm radiații alfa. Îl cunoaștem în calitatea sa de întemeietor al unei familii radioactive. Acest izotop ($_{92}U^{238}$) a fost bombardat cu neutroni. Neutronii pătrunzînd și rămînînd în nucleu, lăsau nemodificat numărul de ordine al elementului, astfel că produsul reacției trebuia să fie un izotop nou al uraniului, avînd numărul de masă crescut cu o unitate, dacă reacția nucleară s-ar fi oprit aci.

Ce s-a observat însă? Acest izotop nou al uraniului nu mai emitea raze alfa, ci *raze beta, adică electroni*. Însă emisia unui electron înseamnă, după cum știm, transformarea unui neutron al nucleului într-un proton, care face să crească numărul de ordine. Deci, noul izotop al uraniului se des-

compunea dînd ca rezultat *primul element cu numărul de ordine 93*, necunoscut pînă acum! Mai mult: acest element nou s-a dovedit că este radioactiv, emiţînd tot radiaţii beta (electroni), prin urmare dezintegrarea lui dădea naştere unui nou element care în tabelul lui Mendeleev trebuia

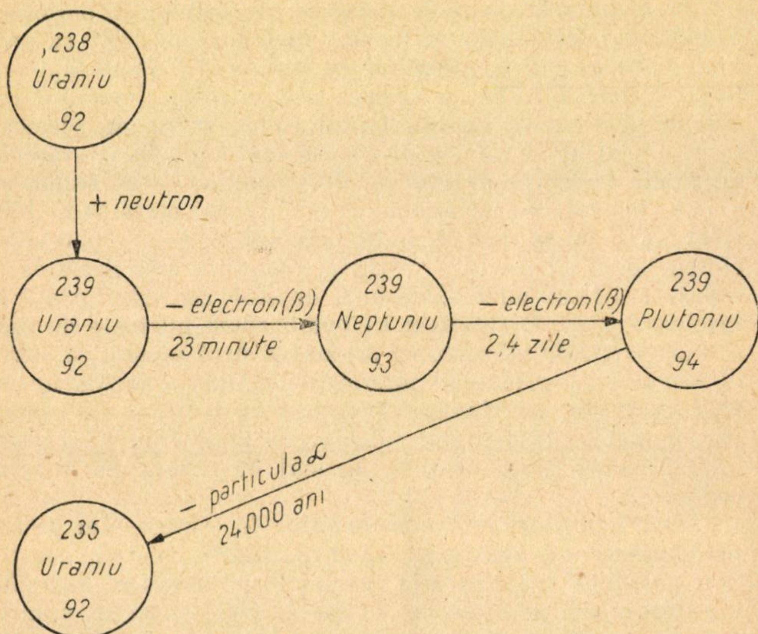
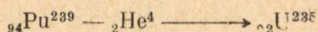


Fig. 33 Schema obţinerii unor izotopi de neptuniu şi plutoniu.

aşezat şi mai la dreapta, în următorul pătrăţel liber, avînd numărul 94. În felul acesta au fost descoperite primele două *elemente transuranice*, care se află în sistemul periodic dincolo de uraniu. Ele au fost numite, respectiv, *neptuniu* (${}_{93}Np^{239}$) şi *plutoniu* (${}_{94}Pu^{239}$). Plutoniul este şi el, la rîndul său, un element radioactiv şi emiţînd particule alfa se transformă iarăşi într-un izotop al uraniului, cu un număr de masă *diferit*, care este acum 235, după cum se vede uşor din următoarea reacţie nucleară:

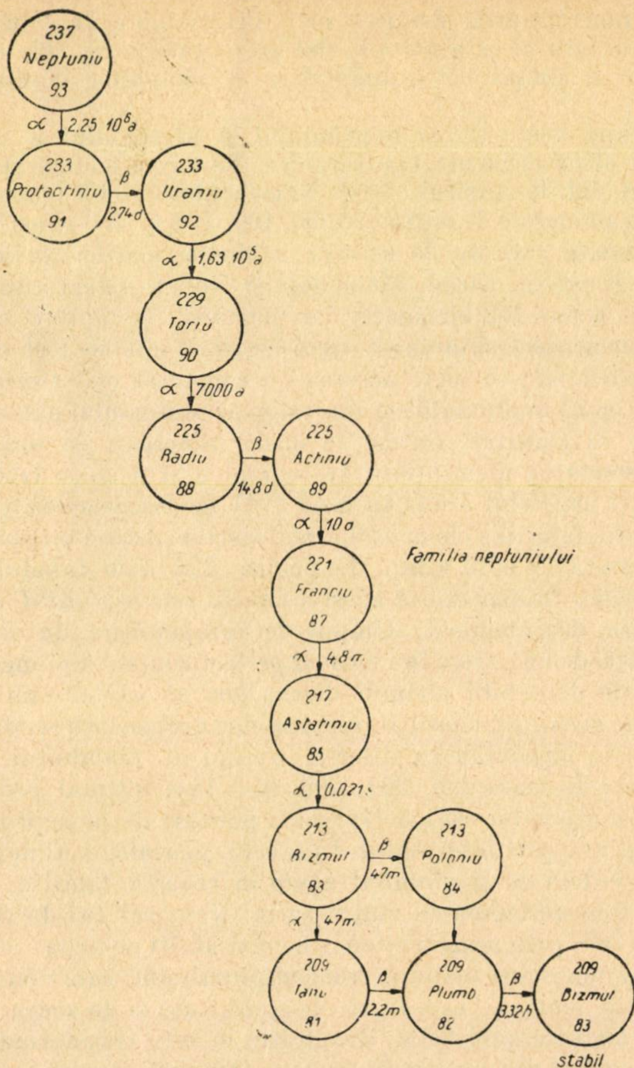


$${}_{94}Pu^{239} - {}_{2}He^{4} \longrightarrow {}_{92}U^{235}$$

Transformările descrise aici, determinate de bombardarea uraniului cu neutroni, sînt prezentate în fig. 33, unde am dat și timpii de înjumătățire ai izotopilor corespunzători.

După descoperirea neptuniului și plutoniului a venit rîndul altor elemente transuranice. Le avem enumerate în tabelul dat la sfîrșitul cărții. Numele elementelor transuranice cu numerele de ordine 96, 99, 100, 101 și 102 constituie monumente ridicate de știință în cinstea marilor savanți: Curie, Einstein, Fermi, Mendeleev și Nobel. Astăzi cunoaștem de acum 102 elemente, iar numărul izotopilor celor zece elemente transuranice trece de 70. Toate au fost obținute artificial; cu toate acestea s-a constatat mai tîrziu că un izotop al neptuniului și un izotop al plutoniului există în natură în cantități infime în unele minereuri de uraniu.

Cercetarea elementelor transuranice și a altor izotopi obținuți artificial a dus în anul 1947 la descoperirea celei de a patra familii a elementelor radioactive, a cărei existență era bănuită de mult timp. La pagina 226 dăm tabelul ei genealogic. Întemeietorul acestei familii este *neptuniul*, care în urma dezintegrării, timpul de înjumătățire de peste 2 000 000 de ani, trece în izotopul *protactiniului*. Aici merită o atenție deosebită ultimul descendent al acestei familii, care este *bismutul*. Familiile elementelor radioactive studiate înainte se isprăveau cu diferiți izotopi ai plumbului, cu numerele de masă 206, 207, 208. Aici însă ultimul produs al transformărilor radioactive care pornesc de la neptuniu este un izotop al bismutului. În tabelul genealogic al neptuniului vedem că și plumbul apare în această familie, dar acesta este un izotop cu viață scurtă. Numărul lui de masă este de 209, prin urmare el conține mai mulți neutroni decît izotopii cunoscuți înainte. Nucleul plumbului, care conține tot atîția neutroni, este lipsit de stabilitate și de aceea suferă o transformare beta. Rezultatul ei este transformarea unui neutron din nucleu în proton. Datorită acestei transformări, echilibrul protono-neutronic este restabilit și izotopul stabil al bismutului rezultat, încheie acest șir de transformări radioactive.



II Tabelul genealogic al celei de a 4-a familii radioactive. Numărul de sus din cerc arată numărul de masă, cel de jos arată numărul de ordine. La tipul dezintegrării se indică şi timpul de înjumătăţire.

Eliberarea energiei nucleare

Drumul care ducea la descoperirea elementelor transuranice nu era simplu. El era bogat în complicații. Tocmai descifrarea acestor complicații a dus la eliberarea energiei nucleare pe scară macroscopică. Acest lucru s-a realizat datorită efortului colectiv al multor savanți. Dacă am vrea să cităm numele numai a cîtorva oameni de știință, ale căror lucrări au contribuit în cea mai mare măsură să facă accesibilă omenirii această nouă sursă de energie, n-am putea să trecem cu vederea pe savantul italian *Fermi* și pe alți doi savanți germani: *Hahn* și *Strassmann.*

Fermi a început lucrările în acest domeniu și sub conducerea lui a fost construită *prima pilă atomică din lume.* El a încercat (încă în anul 1934) să obțină elemente care să fie plasate în tabelul sistemului periodic dincolo de uraniu. În acest scop, el a bombardat uraniul cu neutroni, înțelegînd că adăugarea unui neutron la nucleul uraniului poate duce la formarea unui nou nucleu nestabil. Acest nou nucleu, tinzînd să devină stabil, va căuta să scape de neutronul străin, transformîndu-l în proton și emițînd un electron, adică o radiație beta. În experiențele lui Fermi apăreau însă atîția izotopi diferiți și ciudați, încît identificarea lor întîmpina greutăți foarte mari.

În realitate, cum am arătat anterior, abia peste șase ani, în 1940, s-a reușit obținerea primelor elemente transuranice. Dar mai devreme, în anul 1939, s-au obținut unele rezultate neobișnuite în cursul cercetării produselor de transformare a nucleelor de uraniu sub acțiunea neutronilor. Cercetînd aceste produse, Hahn și Strassmann au stabilit cu toată certitudinea că printre ele apare și *bariul*, un element relativ ușor. Mai tîrziu au fost identificate și alte elemente cu numerele de masă apropiate de 140. Interpretarea acestor rezultate a fost adusă la cunoștință publică de către fizicienii germani O. Frisch și Lise Meitner. Ei au emis atunci ipoteza, care mai tîrziu a fost pe deplin confirmată, că *nucleele uraniului bombardate cu neutroni pot suferi o fisiune, adică să se descompună în două părți aproximativ egale.* Nu e mult timp de cînd nucleul atomului constituia o citadelă de necucerit. Mai tîrziu am obținut arma în fața căreia zidurile acestei citadele n-au mai rezistat. Cu o lovitură de proiectil în plin

se smulgea acum cîtva timp numai o parte din aceste ziduri. Astăzi însă numai cu o singură lovitură în plin, se despică întreaga cetate în două bucăți.

Să ne închipuim că nucleele elementelor grele ar fi ca niște picături de lichid. Neutronii și protonii reprezintă atunci moleculele acestui „lichid nuclear". Dacă un proiectil nimerește într-o astfel de picătură, efectul loviturii poate fi de două feluri. Energia „moleculei" care a pătruns poate fi folosită pentru „ridicarea temperaturii" lichidului. Moleculele din care este compus lichidul vor deveni atunci mai mobile și rezultatul va fi că una din ele se poate „evapora". Acesta ar fi modelul bine cunoscutelor transformări nucleare în cursul cărora o particulă iese din nucleu. Dar fenomenul poate decurge în mod cu totul diferit. Energia proiectilului poate constitui un impuls pentru vibrația întregii picături. Picătura, la început sferică, în urma vibrațiilor capătă o formă elipsoidală, se alungește. Din cauza alungirii, forțele de atracție scad, picătura se rupe în două picături mai mici care se resping cu o energie foarte mare.

Iată modelul fisiunii nucleului de uraniu sub acțiunea neutronilor. Din acest model rezultă că fisiunea nucleului de uraniu se va deosebi esențial de alte transformări cunoscute pînă acum. Pînă acum produsul descompunerii era o particulă emisă și nucleul unui element foarte precis determinat. Dimpotrivă, *fisiunea* nucleului va prezenta un caracter *statistic*. Produsul acestei transformări nu va consta din două nuclee bine determinate, veșnic aceleași. Alcătuirea părților în care se desface un nucleu prin fisiune *este întîmplătoare* și poate varia în limite largi. De aici au rezultat greutăți mari în identificarea produselor acestor transformări de care am pomenit cu puțin înainte. Într-adevăr, pînă azi s-au descoperit cîteva sute de izotopi diferiți, rezultați din fisiunea nucleului de uraniu. S-a constatat că și nucleele altor elemente, nu numai ale uraniului, pot suferi astfel de transformări.

Dar să rămînem la uraniu. Uraniul natural este un amestec de izotopi. Cînd îl bombardăm cu neutroni înzestrați cu energie mică, se fisionează numai nucleele cu numărul de masă 235. Izotopul mai greu, al cărui număr de masă este 238, și care în uraniul natural se află într-un procent mult mai mare, de 99 %, suferă această transformare abia după folosirea neutronilor mai bogați în energie.

Să ne ocupăm deci numai de izotopul mai ușor 235. Nucleul său atomic este compus, cum se poate verifica ușor, din 92 protoni și 143 neutroni (numărul de ordine 92, numărul de masă 235, 235 — 92 = 143). Știm însă că atomii cu numerele de masă mijlocii au aproximativ tot atîția protoni cît și neutroni. Din această cauză, cînd nucleul uraniului se va desface în două părți și se vor forma din el nucleele unor elemente mai ușoare, la un anumit număr de protoni va reveni un număr mai mare de neutroni decît acela pe care îl au izotopii normali ai acestor elemente. Să ilustrăm acest lucru cu un exemplu concret. Unul din produsele fisiunii nucleelor uraniului este și bariul. Numărul de ordine al bariului este 56, al uraniului 92. De aici rezultă că, dacă nucleul uraniului se fisionează în alte două nuclee și unul din ele este nucleu de bariu, atunci celălalt nucleu trebuie să fie al unui element care conține în nucleul său 36 protoni, adică un nucleu de *cripton.* Să privim acum tabelul izotopilor. Izotopii stabili cei mai grei ai bariului și criptonului au numerele de masă 138, respectiv 86, suma lor este deci 224. Comparînd acest număr cu numărul de masă 235 al uraniului constatăm că produsele fisiunii posedă un surplus de 11 neutroni. La aceștia se mai adaugă încă neutronul străin, care a determinat transformarea. Fisiunea nu se poate termina la acest stadiu. Surplusul de neutroni trebuie să fie înlăturat. La această țintă pot duce numai două alternative. Una din ele constă în *emisia neutronilor în exces*, a doua constă în alte transformări ulterioare ale produselor fisiunii, care pot să ajungă în starea de echilibru prin *emisia de raze beta*, transformînd în felul acesta neutronii în exces, în protoni.

Experiența a demonstrat că în cursul fisiunii nucleare se realizează ambele alternative: pe de o parte se produce *emisia a 2 sau 3 neutroni*, iar pe de altă parte, nucleele mai ușoare rezultate din fisiune *emit raze beta.* Tocmai acești doi sau trei neutroni emiși constituie cheia înțelegerii modului cum se desfășoară mai departe *lanțul cauzal de fenomene.*

Ne mai aducem aminte că cele două particule alfa, rezultate în experiențele lui Cockcroft și Walton în urma bombardării litiului cu particule de protoni, posedau o energie foarte mare, cu mult mai mare decît energia proto-

nului incident. Dar atunci am spus că acest cîştig uriaş de energie este numai teoretic. Cîştigul însutit al mizei revenea numai la unul din 100 000 000 de lozuri. În cazul de care ne ocupăm, cele două fragmente ale uraniului fisionat au de asemenea o energie uriaşă, dar neutronii emişi de nucleu

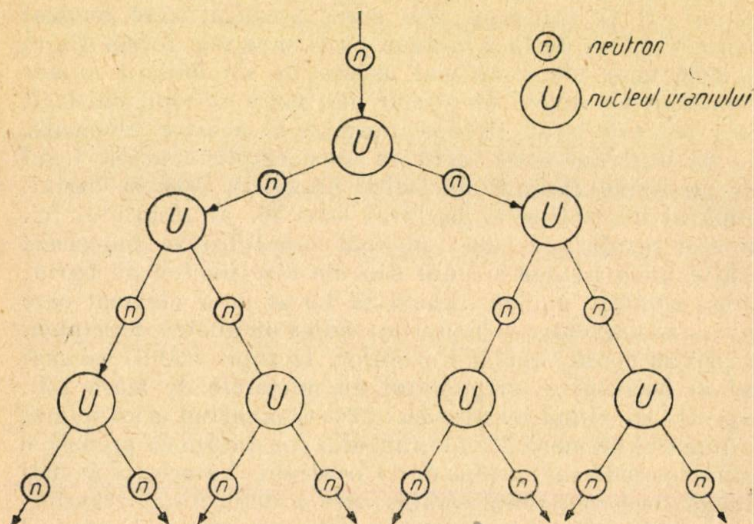


Fig. 34 Schema reacţiei în lanţ.

schimbă cu totul caracterul fenomenului. Aici tocmai *un neutron* a determinat fisiunea nucleului de uraniu; or, dacă dintr-un nucleu fisionat ies doi neutroni, înseamnă că cei doi neutroni pot şi ei la rîndul lor să determine fisiunea altor două nuclee. Dar o dată cu aceste *două* nuclee fisionate vor apărea acum *patru* neutroni, care la rîndul lor vor fisiona alte patru nuclee producînd 8 neutroni, şi aşa mai departe. Lanţul cauzal de fenomene, o dată început, se va desfăşura pînă la capăt, cu o viteză foarte mare.

Fenomenul poate fi asemănat cu o *avalanşă*. O piatră aruncată de pe un munte va antrena alte două pietre, iar acestea, la rîndul lor, vor antrena alte patru pietre, şi aşa mai departe. Peste o clipă, de pe munte va cădea o avalanşă de pietre, distrugînd totul în calea ei. La fel se petrece într-un fragment de uraniu, dacă la fiecare fisiune a nucleului sînt

expulzați doi neutroni, care la rîndul lor pot determina (prin fisiunea a două nuclee) ieșirea a altor patru neutroni etc. Se va produce aici *o reacție în lanț*, care poate dezvolta o energie uriașă cu o viteză vertiginoasă. Desfășurarea ei este prezentată schematic în fig. 34.

Dar nu orice neutron emis va determina fisiunea unui nou nucleu al uraniului. Ne amintim că uraniul este un amestec de izotopi. Fisionează numai nucleele cu numărul de masă 235. Pentru a determina fisiunea nucleelor izotopului mai greu, este nevoie de neutroni cu energie mult mai mare. Mai mult, aceste nuclee mai grele sînt — la uraniu — de 140 ori mai numeroase decît cele ușoare. Prin urmare, acești izotopi ai uraniului trebuie separați, sau cel puțin izotopul mai ușor trebuie să apară într-o concentrație mai mare. În afară de aceasta, o parte din neutroni poate ieși afară din bloc fără a nimeri un nucleu de uraniu. Pentru a face deci posibilă desfășurarea completă a reacției în lanț, este nevoie de un bloc de uraniu corespunzător de mare. Dintr-un astfel de bloc neutronii vor avea o șansă mică de a ieși afară fără să se fi ciocnit cu un nucleu de uraniu.

Factorul hotărîtor în desfășurarea reacției în lanț nu este deci numărul de neutroni emiși o dată cu fisiunea nucleului de uraniu, ci numărul neutronilor care pot determina la rîndul lor fisiunea altor nuclee.

Să presupunem că în urma bombardării uraniului cu neutroni s-a produs la început fisiunea a *patru* nuclee, fiecare fisiune fiind însoțită de emisia a cîte doi neutroni. Putem deosebi trei cazuri: 1) fiecare neutron determină fisiunea unui nou nucleu al uraniului; 2) numai jumătate din numărul neutronilor provoacă fisiunea unui nucleu nou; 3) mai puțin de jumătate din numărul neutronilor, continuă să ia parte la reacție. În primul caz, reacția mergînd în progresie geometrică, se va desfășura *în avalanșă*. În al doilea caz, ea va *decurge uniform*, adică, dacă la început s-au scindat patru atomi de uraniu, în faza imediat următoare vor fisiona tot patru ș.a.m.d. În cazul al treilea, reacția mergînd regresiv, se va stinge cu totul, deoarece de la un stadiu la altul al desfășurării vor fisiona din ce în ce mai puține nuclee de uraniu.

Înțelegem deci cum se poate dirija viteza de degajare a energiei nucleare. E suficient să introducem în blocul de uraniu un element oarecare ale cărui nuclee absorb puternic

neutronii și să variem cantitatea lui în acest ansamblu. Avem astfel posibilitatea să reglăm viteza reacției după voința noastră. În locul unei explozii violente, putem obține deci o degajare liniștită a energiei. Pe acest principiu se bazează acțiunea *reactorilor nucleari*. Primul caz de reacție, care decurge ca o avalanșă, este realizat la *bombele atomice*.

Cînd ne folosim de căldură sau de curent electric, nici nu ne gîndim că rezervele de cărbuni de care dispunem vor mai ajunge pentru cel mult 150 de ani. Chiar în anii cei mai apropiați, o parte din aceste nevoi va putea fi acoperită cu energia conținută în nucleele uraniului. Dar și această sursă este limitată. Rezervele de uraniu care există pe glob pot să ne dea numai de cîteva ori mai multă energie decît rezervele de cărbuni. Ce va fi apoi? Generațiile viitoare vor rezolva cu siguranță și această problemă. De altfel cunoaștem chiar de pe acum calea care duce la soluționarea problemei.

Teoria relativității arată că o masă mică este echivalentă cu o energie uriașă. Trebuie, prin urmare, descoperită o altă metodă pentru eliberarea acestei energii, să nu ne limităm numai la fisiunea nucleelor de uraniu.

Să ne amintim de considerațiile noastre privitoare la greutatea atomului de heliu (pag.191). Nucleul de heliu este mult mai ușor decît suma maselor particulelor care intră în alcătuirea lor. De aici rezultă că pentru a sparge nucleul de heliu este nevoie să introducem în el o doză de energie echivalentă cu această diferență de masă.

Invers, dacă am reuși să formăm un nucleu de heliu din doi protoni și doi neutroni, s-ar degaja prin această contopire o energie enormă. Ne-am putea închipui formarea unui nucleu de heliu prin simpla unire între două nuclee de deuteriu sau deutroni, cum se mai numesc nucleele de hidrogen greu.

Fiecare din cele două nuclee de deuteriu este compus, după cum știm, dintr-un proton și un neutron. Dacă am bombarda deuteronii cu alți deuteroni înzestrați cu o energie suficientă — pentru a învinge acțiunea de respingere dintre sarcinile lor electrice — atunci, în urma loviturilor în plin, ar lua naștere nuclee de heliu și s-ar degaja o energie foarte mare. Dar loviturile în plin ar fi extraordinar de rare și cîștigul de energie ar fi relativ mic în raport cu muniția irosită. Deci nu aceasta este calea cea bună.

Să ne gîndim la un alt proces. Se știe că în urma încălzirii unui gaz, energia de mișcare a moleculelor lui crește. Dacă vom încălzi hidrogenul greu la o temperatură foarte ridicată, ciocnirile dintre moleculele lui, rezultate din mișcarea lor dezordonată, vor fi atît de puternice, încît vor duce la formarea nucleelor de heliu cu degajarea unei energii uriașe. În acest caz reacția formării nucleelor de heliu se va produce imediat. Degajarea energiei va avea loc instantaneu, căci toate nucleele vor reacționa în același timp. Pentru realizarea sintezei dintre nucleele de heliu este necesară o temperatură extraordinar de ridicată, ajungînd la *milioane de grade*. Abia la această temperatură energia de mișcare dezordonată a moleculelor de gaz va fi destul de mare pentru ca ciocnirile lor să ducă la nașterea nucleelor de heliu. În clipa în care această temperatură va fi realizată, fenomenul va decurge instantaneu și nu vom putea influența asupra vitezei lui de desfășurare.

În bombele cu hidrogen s-a obținut pe scară macroscopică sinteza nucleelor de heliu, o dată cu degajarea unei energii uriașe, cu mult mai mare decît în cazul fisiunii nucleelor de uraniu. Problema degajării lente, controlate de om, a acestei energii este deocamdată una din problemele viitorului.

Prin aceasta tehnica distrugerii a depășit cu mult tehnica folosirii pașnice a energiei nucleare. Dacă însă războiul atomic — care amenință cu distrugerea omenirii — nu se va produce, avem motive să spunem că omenirea se află în pragul unei ere de aur. Nu vom mai avea nevoie de cărbuni, de petrol sau de un element atît de rar cum este uraniul. Hidrogen există peste tot. Orice moleculă de apă conține doi atomi ai săi.

Nucleele atomice au devenit astăzi în mîinile noastre un material pe care-l putem transforma după dorință. Am produs aproape o mie de izotopi artificiali ai tuturor elementelor, și fiecare lună ne aduce vești despre descoperirea de noi izotopi. Ne pricepem să schimbăm structura nucleelor, sîntem în stare să scindăm nuclee grele și să obținem nuclee ușoare. Am dat multor domenii ale științei instrumente noi de lucru și — ceea ce este cel mai important lucru din punctul de vedere al considerațiilor noastre — am lărgit și am adîncit cunoașterea legilor care conduc alcătuirea lumii și fenomenele care se petrec în ea.

Energia stelelor. Originea elementelor

Problemele cosmologice pasionează omenirea de secole. Cînd s-a înţeles că cerul înstelat nu există numai ca sursă de inspiraţie a poeţilor, cînd sonda telescopului a pătruns în adîncimile universului, savanţii s-au văzut puşi în faţa multor probleme noi.

Soarele este numai una din stele. El nu se deosebeşte prin nimic de celelalte nici prin mărime, nici prin temperatură — este o stea din cele mai obişnuite. Datorită acestui fapt, informaţiile pe care le avem despre soare şi stele se completează reciproc. Stelele ne dau ştiri referitoare la evoluţia lor. Soarele ne informează precis despre compoziţia sa, despre desfăşurarea fenomenelor care se petrec în interiorul său.

De unde ia soarele energia sa? Încercarea de a explica de unde provine energia lui care întreţine viaţa pe pămînt, datează de mult timp. Spre sfîrşitul secolului trecut se presupunea că ea este de origine *gravitaţională.* Soarele radiind energie, se răceşte şi se contractă. Din cauza aceasta, masele uriaşe de materie cad spre centrul său. Ele dobîndesc prin această contracţie o anumită energie cinetică, la fel ca o piatră care cade la pămînt. Această energie la rîndul ei se poate transforma în energie calorică şi energie radiantă. Dar această explicaţie nu era satisfăcătoare. Calculele au demonstrat că, în cazul cînd soarele s-ar contracta de la dimensiuni infinit de mari pînă la starea de astăzi, emiţînd radiaţii cu o intensitate egală cu cea de astăzi, procesul acesta n-ar putea ţine mai mult de cîteva zeci de milioane de ani. Or, din geologie ştim că intensitatea radiaţiilor solare, de cel puţin jumătate de miliard şi poate chiar un miliard de ani, n-a suferit nici o schimbare esenţială. Prin urmare, trebuiau căutate alte cauze ale energiei solare.

Atunci cînd, la începutul secolului al XX-lea s-au descoperit elementele radioactive, s-a încercat să se explice originea radiaţiilor solare, prin energia degajată în cursul dezagregării spontane a nucleelor atomice. Nici această încercare nu s-a terminat cu vreun succes. Abia cunoaşterea transformărilor nucleare artificiale legate de degajarea unei energii uriaşe, a arătat care este sursa energiei stelelor.

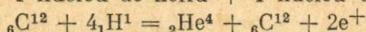
În interiorul soarelui, după cum a demonstrat cunoscutul astronom englez Eddington, temperatura ajunge la 20 000 000 de grade. La această temperatură nu poate exista nici un fel de corp chimic compus, şi chiar atomii izolaţi sînt lipsiţi de electronii lor. Nucleele atomice dezgolite, în primul rînd nucleele de hidrogen care în soare se află în cantitatea cea mai mare, se mişcă cu viteze uriaşe. Ciocnirile lor duc la formarea nucleelor mai grele, iar echilibrul protono-neutronic poate să fie reglat prin transformarea protonilor în neutroni şi pozitroni. În cursul acestei sinteze necontenite apar în primul rînd nucleele de heliu şi se degajă o energie uriaşă, care este suficientă să compenseze pe deplin risipa de energie a soarelui. Fizica de astăzi ne explică deci procesele care au loc în stele. Energia solară, datorită căreia este posibilă existenţa şi dezvoltarea vieţii pe pămînt, *se naşte în cursul sintezelor nucleelor atomice.*

Dar afirmaţia că stelele îşi creează energia numai prin transformarea directă a nucleelor de hidrogen în nuclee de heliu ar fi o simplificare prea mare a problemei. Procesele care se petrec în stele sînt cu mult mai complicate. Înţelegerea acestor fenomene a fost mult adîncită, datorită lucrărilor multor savanţi. Merite mari în acest domeniu le au fizicianul american Bethe şi fizicianul sovietic Frenkel.

După teoria lui Bethe, la crearea energiei stelelor iau parte şi nucleele elementelor mai grele. Să ne închipuim, de exemplu, că nucleul carbonului (numărul de ordine 6, numărul de masă 12), suferă transformări succesive. Rezultatul lor este înghiţirea de către nucleu a trei protoni şi emisia a doi pozitroni. Stadiile intermediare ale acestor transformări au fost studiate amănunţit în laboratoare.

După cum am făcut-o în multe rînduri pînă acum, putem şi de data aceasta să ne convingem că drept rezultat vom obţine un nucleu cu numărul de ordine 7 — deci un nucleu de azot — şi că numărul lui de masă va fi 15. Dacă de acest nucleu vom mai lega un proton, reacţia va decurge după schema cunoscută de noi (v. pag. 215) şi va urma emisia unui nucleu de heliu. Dar noul nucleu atomic care se va forma aici va fi din nou acelaşi nucleu de carbon ca şi acela care a iniţiat procesul de transformare şi deci va putea fi folosit din nou în reacţie.

Trecînd peste toate stadiile intermediare, am putea scrie că reacția decurge în felul următor: 1 nucleu de carbon + 4 protoni→ →2 pozitroni + 1 nucleu de heliu + 1 nucleu de carbon, sau:



$$_{6}C^{12} + 4\,_{1}H^{1} = \,_{2}He^{4} + \,_{6}C^{12} + 2e^{+}$$

Deci, după cum se vede, reacția se reduce la formarea nucleelor de heliu din nuclee de hidrogen, totuși această reprezentare schematică a sintezei de mai sus poate explica mai bine caracteristicile majorității stelelor.

Soarele, stelele și întreg universul sînt formate din aceleași elemente ca și pămîntul. Dar în fiecare corp elementele se află în cantități diferite. Pe pămînt există mai puțin aur decît fier și fier mai puțin decît oxigen. Este greu să stabilim cantitatea unui element pe pămînt și cu atît mai greu în univers. Totuși, cu ajutorul cercetărilor precise asupra pămîntului, meteorilor, stelelor și materiei intersiderale, s-a stabilit frecvența relativă a apariției diferitelor elemente și a izotopilor acestora. Regula aproximativă este aceasta: *cu cît numărul de ordine al unui element este mai mare, cu atît el se găsește mai puțin în natură.* Să cităm pentru exemplificare cîteva date. Atomii de hidrogen sînt de 10 ori mai numeroși decît cei de heliu și de 5 000 de ori mai numeroși decît cei de oxigen. Oxigenul, la rîndul său, există în cantități de 10 000 de ori mai mari decît cuprul, care la rîndul lui, este de 2 000 de ori mai mult decît uraniul. S-a presupus că distribuția elementelor în natură va putea fi explicată prin transformările nucleare care au loc în stele. S-a văzut însă că, în condițiile care există în stele sau cel puțin în majoritatea lor, nu se pot naște elemente grele. Dar știm de mult timp că pe suprafața soarelui, de exemplu, există elemente grele. Dacă ele nu se nasc în cursul transformărilor nucleare din interiorul soarelui, trebuie să admitem că procesul principal de creare a elementelor s-a petrecut în „perioada preastrală", că soarele, în clipa formării sale, era format din diferite variante ale elementelor. S-au făcut multe încercări de a se explica frecvența apariției diferitelor elemente și cu toate că nici una din aceste încercări nu este pe deplin satisfăcătoare, s-au obținut rezultate foarte interesante. Să prezentăm pe scurt una din aceste teorii.

Să ne închipuim că, la un moment dat, întreaga materie a fost constituită numai din neutroni. Nu este o ipoteză

absurdă. Printr-o presiune extraordinar de mare, s-ar putea ca electronii să se unească cu nucleele și să ia naștere în felul acesta numai *neutroni*. Neutronii, după cum știm, nu sînt durabili și după 12 minute, jumătate din numărul lor se desface în protoni și electroni. După 12 minute vom avea deci cantități egale de neutroni, protoni și electroni și în felul acesta obținem materialul necesar din care pot lua naștere mai departe deuteroni, nuclee de heliu, precum și alte elemente ușoare — așa cum se nasc în stele. Să ne închipuim însă că neutronii sînt în număr mai mare decît protonii, adică folosind o imagine plastică, dispunem de diferite nuclee atomice ușoare și, pe lîngă aceasta, avem și un „recipient" plin de neutroni. Să luăm acum pe rînd nucleele diferitelor elemente, sau mai precis nuclee de diferiți izotopi ai elementelor și să le scufundăm în recipientul cu neutroni. Neutronii se vor alipi de aceste nuclee, cel puțin de unele din ele. Dacă nucleul va fi izotopul cel mai ușor al unui element oarecare, vom obține numai izotopul mai greu al aceluiași element. Dar dacă nucleul va fi de izotopul stabil cel mai greu al elementului, atunci alipirea de el a unui neutron va avea ca rezultat un nucleu nou, care ar conține prea mulți neutroni. Nucleul acesta nu va fi stabil și într-un astfel de caz, calea spre echilibru duce prin transformarea neutronului în proton cu emisia unei radiații beta, legată de această transformare. Or, după cum știm, în urma unei astfel de transformări, numărul de ordine al nucleului crește cu o unitate, astfel că în tabelul lui Mendeleev, el se mută cu o căsuță la dreapta. Repetîndu-se acest proces de mai multe ori, putem obține rînd pe rînd toți izotopii elementelor.

Procesul formării elementelor descris aici este foarte simplu, atît de simplu încît nu ne putem elibera de un anumit scepticism. Folosindu-ne totuși de proprietățile cunoscute ale nucleelor, putem face anumite calcule. Constatăm atunci că unele concluzii cantitative referitoare la frecvența apariției diferitelor elemente concordă aproximativ cu datele experienței, pe cînd alte concluzii rezultate din această teorie nu concordă cu experiența și de aceea această problemă nu o putem considera soluționată. Vedem totuși, cum dezvoltarea fizicii nucleare aruncă o lumină și asupra evoluției universului.

Forțele nucleare

Am amintit în cîteva rînduri despre forțele care leagă protonii și neutronii în nuclee. Le-am dat numele de *forțe nucleare*. Prima particularitate caracteristică a forțelor nucleare este valoarea lor enormă. La formarea nucleelor se degajă o energie uriașă, tocmai datorită faptului că neutronii și protonii sînt legați între ei atît de puternic.

A doua caracteristică a forțelor nucleare este distanța mică la care ele acționează. Cunoaștem o unitate mică de lungime numită Ångström (Å). Ea este de 100 de milioane de ori mai mică decît un centimetru. Raza primei orbite a lui Bohr, în atomul de hidrogen, este de 0,5 Å. Raza de acțiune a forțelor nucleare este însă mult mai mică: cam a suta mia parte dintr-un Ångström.

Pentru acest motiv, forțele nucleare nu se pot asemăna nici cu cele electrice, nici cu cele gravitaționale.

Să ne ocupăm puțin de forțele care se exercită între două sarcini electrice. Electronul determină în jurul său un cîmp electromagnetic. Dacă în apropierea lui se află un alt electron, va apărea între ei o acțiune reciprocă, adică o interacțiune, prin intermediul acestui cîmp. Dar s-a văzut că putem avea aceeași interacțiune, dacă considerăm cuantele corespunzătoare, adică fotonii, în locul cîmpului electromagnetic. Aici constatăm iarăși natura dublă a materiei: fotonii și cîmpul, care corespund respectiv particulelor și undelor. Ne putem explica mai plastic acțiunea reciprocă dintre electroni, atribuind fiecăruia un dublu rol față de foton. Mecanismul acestui fenomen este următorul: unul dintre electroni emite un foton, pe care celălalt electron îl absoarbe, emițînd și el la rîndul său un foton pe care îl absoarbe primul electron și așa mai departe. Fotonii sînt cuante de energie ale cîmpului electromagnetic. Fotonul, care transportă energia de la un electron la celălalt, mijlocește prin aceasta acțiunea reciprocă dintre electroni.

La fel s-a încercat explicarea forțelor nucleare. Fizicianul japonez Yukawa a obținut în anul 1935 un mare succes în această direcție. Potrivit teoriei lui, neutronii și protonii unui nucleu formează și ei un cîmp, care servește pentru transmiterea interacțiunii lor. Caracteristicile specifice ale interacțiunii erau explicate de Yukawa pornind de la pre-

misa că această interacţiune este transmisă prin anumite cuante de energie ale cîmpului coexistent (analogie cu fotonii de la interacţiunea electronilor). Aceste cuante prezintă caracteristicile unor particule încă necunoscute pe atunci şi care mai tîrziu au fost numite *mezoni*. Mezonii pot avea

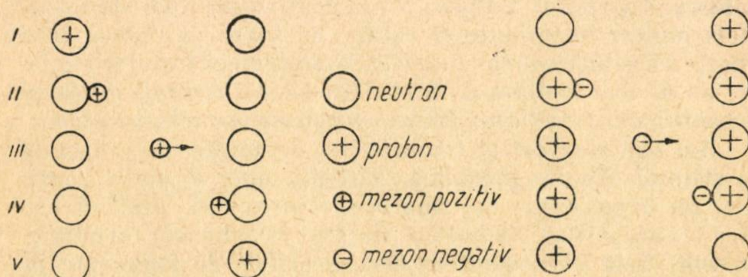


Fig. 35 Modele de acţiune reciprocă dintre neutron şi proton prin mijlocirea mezonilor.

o sarcină electrică de orice semn, cu condiţia ca ea să fie egală în valoare absolută cu sarcina elementară, iar masa lor, după calculele lui Yukawa, ar trebui să fie de 200 de ori mai mare decît masa unui electron.

Cum ar trebui să ne închipuim interacţiunea între un neutron şi un proton, după teoria lui Yukawa? Acest lucru ni-l explică fig. 35 (în partea stîngă). Sus vedem un proton şi un neutron. Protonul se desface apoi într-un neutron şi un mezon *pozitiv*. Mezonul este trimis la neutronul iniţial, care absorbindu-l se transformă în proton. Ca rezultat avem din nou aceleaşi două particule, ca şi la început: un *proton* şi un *neutron*, numai că locurile lor sînt schimbate (deoarece protonul a devenit neutron, neutronul a devenit proton). Procesul se repetă din nou. Transmiterea interacţiunii între un proton şi un neutron o poate face şi un mezon *negativ*. Acest tip de interacţiune este reprezentat în fig. 35 (în partea dreaptă).

Neutronul şi protonul s-ar putea asemăna cu doi jucători de tenis, care-şi trimit unul altuia mingea-mezon. Diferenţa constă în aceea că mezonul nu face numai drumul între neutron şi protoni ci este şi absorbit de el şi emis din nou. (Jucătorul nu respinge mingea primită, ci mai întîi prinde mingea şi pe urmă o aruncă partenerului său.)

Doi ani după publicarea teoriei lui Yukawa am trăit un eveniment neobişnuit. Doi fizicieni englezi, Powell şi Occhialini au descoperit în radiaţiile cosmice nişte particule noi, cu masa de 270 de ori mai mare decît masa electronului, care prezentau toate caracteristicile mezonilor prezise de Yukawa. Teoria lui Yukawa a fost confirmată apoi de rezultatele multor experienţe şi astăzi, cu toate că sîntem încă departe de soluţionarea completă a problemei forţelor nucleare, nu ne mai îndoim de faptul că *tocmai mezonii mijlocesc transmiterea interacţiunii dintre componentele nucleului atomic*.

Am fost martori ai triumfurilor de multe ori repetate ale ştiinţei. Teoria prevedea existenţa unor anumite particule, iar experienţa confirma aceste prevederi, arătînd justeţea concepţiilor teoretice despre fenomenele studiate. Adeseori însă evenimentele decurg altfel. Se stabileşte pe cale experimentală existenţa anumitor particule, care nu se pot explica prin nici o teorie. Atunci în construcţia cea frumoasă şi subtilă a teoriei apar fisuri. Dezvoltarea necontenită a ştiinţei, ducîndu-ne la cunoştinţe din ce în ce mai clare şi mai precise asupra tainelor naturii, ne arată cît de imperfecte sînt astăzi concepţiile noastre. În ultimii ani am fost martori la descoperirea multor particule noi. S-au descoperit *tipuri noi de mezoni* prin care cîteva cu mase aproape de 1 000 de ori mai mari decît masa electronului. S-au descoperit de asemenea particule mai grele decît protonii sau neutronii, iar fizicienii polonezi *Danysz* şi *Pniewski* au stabilit că şi ele pot fi nişte componente ale nucleelor atomice. În total, astăzi cunoaştem deja peste 20 de particule elementare, iar numărul lor creşte mereu.

Ce este o *particulă elementară?* Noţiunea de particulă elementară este o noţiune relativă, care depinde de gradul de dezvoltare al ştiinţei. Particula elementară este particula a cărei structură nu este cunoscută şi pe care o putem considera ca un punct material. Atomii erau particule elementare înainte de descoperirea electronului; cu treizeci de ani în urmă erau cunoscute numai trei specii de particule elementare: protoni, electroni şi fotoni. Astăzi cunoaştem peste 20 de particule elementare. Acest număr provoacă chiar neliniştea noastră uşor de înţeles, deoarece el contrazice noţiunea de elementar. Nu ştim de ce există tocmai aceste particule şi nu altele, nu ştim de ce ele au aceste pro-

prietăţi şi nu altele. Nu avem nici o teorie care să ne îndrumeze în domeniul particulelor elementare. Teoriile pe care le cunoaştem cuprind relativ puţine fenomene din acest domeniu. Teoria lui Dirac se referă numai la electroni şi pozitroni sau cel mult la protoni şi antiprotoni. Lipseşte deci o teorie generală atotcuprinzătoare.

Problema particulelor elementare este problema esenţială a fizicii de astăzi. Există multe încercări de a o soluţiona. Arena pe care se dispută aceste încercări este *teoria cîmpului*. Cunoaştem deja cîmpuri electromagnetice şi mezonice, am auzit şi despre cîmpul gravitaţional. Prin analogie, se atribuie anumite cîmpuri şi altor particule cum ar fi de exemplu electronii, protonii etc. Cîmpul este o noţiune primară, caracterizînd *un anumit gen de materie*. În concepţia cîmpului particula elementară, de exemplu un electron, nu este altceva decît „condensarea" cîmpului. Ea este foarte puternică pe un spaţiu foarte limitat, şi dincolo de acest spaţiu „densitatea" dispare repede. Nu există deci o suprafaţă care să reprezinte o frontieră între particula elementară şi cîmp, aceste noţiuni nefiind distincte din punct de vedere material.

Există numai cîmpul care umple tot spaţiul. Cu alte cuvinte, am putea spune că particulele elementare corespund unor stări de excitaţie ale cîmpului. În această concepţie problema pozitronilor apare cea mai simplă. Dispariţia unei perechi pozitron-electron şi apariţia în locul lor a două cuante de raze gamma corespunde pur şi simplu excitării cîmpului electromagnetic pe socoteala cîmpului electrono-pozitronic.

Fotonii pot avea diferite „valori". Fiecărei lungimi de undă a radiaţiilor electromagnetice îi corespunde un foton de o anumită energie bine definită, deci şi masa care reprezintă această energie este bine definită. Teoria fenomenelor electromagnetice ne explică pe deplin de ce fotonii apar cu mase diferite. Şi astăzi, cînd avem de-a face cu fotonii razelor vizibile, ai razelor Roentgen sau ai razelor gamma, nimeni nu este de părere că aceşti fotoni ar fi particule elementare de naturi diferite. Particula elementară este o cuantă a cîmpului electromagnetic, iar diferitele valori ale ei corespund diferitelor excitaţii ale acestui cîmp.

Se pune din capul locului o întrebare: oare toate particulele elementare pe care le cunoaştem sînt ele în realitate particule elementare? Nu cumva există între ele o relaţie asemănătoare aceleia care există între un foton al razelor vizibile şi un foton al razelor Roentgen? Nu avem nici un răspuns mulţumitor la această întrebare. Problema particulelor elementare, strîns legată de problema forţelor nucleare, îşi aşteaptă soluţionarea.

ÎNCHEIERE

Am prezentat într-o scurtă schiță transformările care au avut loc în secolul al XX-lea în concepțiile noastre despre structura materiei, schimbînd în mod fundamental metodele noastre de gîndire și croind un drum nou în dezvoltarea științei.

Secolul trecut a fost secolul domniei nediscutate a mecanicii lui Newton. Această mecanică și-a pus amprenta pe toate capitolele fizicii și a ajuns la o formă armonioasă și frumoasă în simplitatea ei logică. Este suficient să stabilim prin măsurători, așezarea și vitezele particulelor care formează un sistem oarecare și, pe baza cunoașterii legilor mecanicii, vom putea stabili soarta atît în trecut cît și în viitor a sistemului. Fizica din această epocă se caracteriza prin mîndria și siguranța ei tinerească, prin încrederea în sine, prin ideea că legile care guvernează natura sînt definitiv cunoscute, că ele vor explica nu numai fenomenele cunoscute, dar vor fi în stare să explice și fenomenele care vor fi descoperite în viitor.

Astăzi știm cît era de exagerată siguranța și încrederea în această concepție. Secolul al XX-lea a coborît mecanica clasică, de pe piedestalul pe care era așezată. Ea a devenit doar unul din capitolele fizicii, iar aplicabilitatea ei s-a redus numai la corpurile *macroscopice*, care se deplasează cu viteze mici în comparație cu viteza luminii. Astăzi a luat naștere o mecanică nouă, mecanica cuantică, care formulează legile componentelor elementare ale structurii materiei. Această mecanică nouă prezintă un caracter *statistic*.

Am făcut mai înainte cunoştinţă cu metodele statistice. În domeniul teoriei cinetice a gazelor am fost neputincioşi în faţa dificultăţilor care se ridicau în faţa noastră cînd am vrut să aplicăm legile mecanicii clasice la descrierea stării gazului. Am renunţat deci la cunoaşterea soartei fiecărei molecule în parte şi precizările noastre se refereau numai la *probabilitatea* anumitor stări. Totuşi şi acolo sistemul microfizic era construit după chipul şi asemănarea sistemelor macrofizice. Mişcările moleculelor de gaz şi mişcările corpurilor cereşti erau guvernate de aceleaşi legi.

Teoria lui Bohr subminează temeliile acestei concepţii. Dar neeliberîndu-se cu totul de mecanica clasică, ea se găseşte în faţa unor greutăţi pe care nu le poate învinge. Să ne închipuim că electronul din atomul de hidrogen a fost ridicat la un nivel de energie superior, cu două etaje mai sus decît nivelul normal. El se află într-o stare de excitaţie şi va tinde să-şi micşoreze energia trecînd la o orbită inferioară. Dar el are la dispoziţie nu una, ci două orbite. Ne întrebăm pe care din aceste orbite va sări acest electron? Experienţa ne arată că, la un mare număr de atomi, electronul va sări la nivelul de plecare, iar la restul atomilor, va sări la un nivel intermediar. Punem întrebarea: pe care din aceste orbite va sări? Despre acest fapt ne informează intensităţile liniilor spectrale ale hidrogenului. Şi totuşi în fiecare atom electronul se află în aceeaşi stare? Care este cauza desfăşurării diferite a fenomenelor în diferiţi atomi? Teoria lui Bohr nu ne răspunde la această întrebare. Ea a făcut totuşi o breşă în concepţiile înrădăcinate şi această breşă a deschis drumul pentru noua mecanică cuantică.

Mecanica cuantică a rupt mai radical legăturile sale cu metodele fizicii clasice decît teoria lui Bohr, dînd o formulare mai adîncă şi mai pătrunzătoare a noţiunilor de bază. Dar concluziile ei sînt numai concluzii statistice. Legile mecanicii cuantice nu ne dezvăluie soarta sistemelor microfizice izolate. În schimb ele dezvăluie soarta viitoare a grupărilor constituite dintr-un număr mare de indivizi. Mecanica cuantică nu ne răspunde nici ea la întrebarea dacă un anumit electron al unui atom va sări la prima orbită sau la a doua, dar ne spune numai care este probabilitatea tranziţiilor acestui electron. Ea ne informează numai că într-un

gaz, care este format dintr-un număr uriaş de atomi, salturile electronului pe prima orbită vor fi de atîtea ori mai rare sau mai dese decît pe orbita a doua. Să luăm alt exemplu. Să zicem că în faţa noastră avem doi atomi de radiu. Momentul exact al dezintegrării fiecăruia din ei este ascuns pentru noi. Nu putem prevedea cînd se va dezintegra primul atom de radiu şi cînd al doilea. Ştim totuşi că, din două grame de radiu, după trecerea a 1600 de ani, va rămînea numai un gram. În cursul celor 1600 de ani, jumătate din numărul atomilor de radiu va suferi dezintegrarea.

Să analizăm încă o dată diferenţa dintre raţionamentele fizicii cuantice. Pe baza legilor mecanicii clasice se putea preciza soarta trecută şi viitoare a unui sistem oarecare, dacă se cunoaşte starea sistemului într-o anumită clipă; o simplă măsurătoare corespunzătoare ne furnizează informaţii despre starea sistemului. Dacă însă dorim ca pe baza măsurării să cunoaştem starea iniţială, trebuie să pătrundem într-un mod oarecare în sistemul dat. Însă prin aceasta modificăm tocmai acele valori pe care vrem să le determinăm. Termometrul introdus într-un corp lichid a cărui temperatură o determinăm, modifică temperatura iniţială a corpului chiar dacă o face în măsură mică. Ne putem închipui totuşi (cît timp ne aflăm pe terenul fizicii clasice), că această modificare este foarte mică şi că prin fineţea progresivă a metodelor de măsurare o vom reduce şi mai mult. Pe terenul fizicii clasice ne putem gîndi la o serie de măsurători din ce în ce mai precise, care modifică din ce în ce mai puţin starea sistemului dat.

Fiecare măsurătoare pe care o executăm este totdeauna însoţită de o anumită eroare. Căci, determinînd poziţia şi viteza iniţială a unui punct material, comitem întotdeauna o eroare care depinde de gradul de precizie al instrumentelor de observaţie şi de măsură. Sîntem însă în concordanţă deplină cu fizica clasică, dacă la fiecare neprecizie a rezultatului măsurătorii ne vom consola cu speranţa că în curînd vor exista metode de măsurare mai precise şi mai fine. Şirul de măsurători concepute în acest fel, executate cu o precizie din ce în ce mai mare, ne apare infinit de lung. Dacă cineva ar fi spus acum o sută de ani fizicienilor de atunci că există o limită bine definită de măsurare, pe care nu o vor putea depăşi nici cele mai precise metode şi că

existența acestei limite nu e legată de greutățile tehnice, ci de *legile fundamentale ale naturii*, ei ar fi fost cu siguranță extraordinar de uimiți.

Să ne gîndim totuși dacă de exemplu este posibil să stabilim poziția și viteza electronului într-un anumit moment. Să considerăm un electron liber, adică nesupus la nici o acțiune a vreunei forțe din afară. Electronul este un corp foarte mic (corpuscul). Dorind să stabilim poziția lui, trebuie să vedem în sens fizic acest electron, deci trebuie să proiectăm asupra lui un fascicul de lumină, pe care electronul o va dispersa. Dar noi observăm corpurile foarte mici cu ajutorul unui microscop. Am putea observa un electron prin cel mai bun microscop? Ca să putem răspunde la această întrebare, să cităm anumite date ale opticii. Există o anumită limită de mărire pe care nu o pot depăși nici cele mai bune microscoape. Limita aceasta nu depinde de dificultățile tehnice legate de construirea microscopului, ci de legile fundamentale ale fizicii. Nici cu cel mai bun microscop nu vom putea vedea un corp mai mic decît lungimea de undă a luminii pe care o proiectăm asupra lui. Ochiul nostru nu vede culori cu lungimea de undă mai mică decît 4 000 Å. Această lungime corespunde culorii violete, deci undei celei mai scurte din spectrul vizibil. Nu vom fi în stare nici cu cel mai bun microscop să vedem un corp mai mic de 4 000 Å, adică un corp cu lungimea cam cît a suta mia parte dintr-un centimetru. Dar această lungime limită este uriașă pentru microfizică, este de mii de ori mai mare decît dimensiunile atomului lui Bohr, ca să nu mai vorbim de mărimea electronului, micuța planetă a acestui sistem solar. Problema „observării" electronului trebuie să rămînă deci în domeniul ficțiunii.

Dar să mergem mai departe pe acest drum periculos al ficțiunilor. Să ne închipuim niște ființe care sînt impresionate de orice fel de radiații, la fel cum noi, prin intermediul organului vizual, sîntem impresionați de radiațiile vizibile. Aceste ființe, creații ale fanteziei noastre, „văd" radiațiile Roentgen, gamma și chiar radiațiile mai dure. Așadar, ele pot „vedea" corpuri oricît de mici, dacă pe aceste corpuri se proiectează radiațiile cu undele scurte corespun-

zătoare. În felul acesta, folosind radiaţii foarte dure, fiinţele noastre ar putea stabili, cu o precizie cît mai mare, poziţia electronului. Dar tocmai aici va apare imediat o greutate nouă, esenţială. Scopul urmărit de aceste fiinţe este să stabilească *starea iniţială* a electronului, deci să stabilească *poziţia* şi *viteza* lui iniţială. Să zicem că măsurarea poziţiei s-a petrecut în această clipă. Să ne gîndim la efectele acestei măsurări. Ciocnirea unei radiaţii dure, deci a unui foton bogat în energie, cu un electron liber, produce *efectul Compton*, pe care îl cunoaştem. Fotonul pierde o parte din energia sa, iar electronul o cîştigă. Are loc un schimb de energie, la fel ca la ciocnirea unor bile elastice. Fotonul dispersat este deci mai sărac în energie, este mai „moale", deci corespunde unei unde mai lungi. Electronul în schimb, devine mai bogat în energie şi viteza lui creşte. Cu cît radiaţiile sînt mai dure, cu atît efectul lui Compton este mai pronunţat, cu atît mai mare este viteza electronului. Aşadar, *însuşi actul măsurării* modifică viteza electronului şi o modifică cu atît mai mult cu cît unda este mai dură, deci cu cît dorim să executăm mai precis măsurarea stării lui iniţiale. Modificînd astfel viteza electronului, am falsificat fără să vrem starea lui iniţială şi această denaturare devine cu atît mai pronunţată, cu cît depunem un zel mai mare să găsim coordonatele precise ale electronului. Aceste raţionamente, precum şi altele, conduc la aşa-numitele relaţii de *nedeterminare sau de incertitudine*, pe care Heisenberg le-a formulat pentru prima oară. Ele au o importanţă fundamentală în mecanica contemporană cuantică. Iată cum le putem exprima în cuvinte:

masa electronului × eroarea de măsură a poziţiei electronului × eroarea de măsură a vitezei electronului, este aproximativ egală cu constanta h a lui Planck.

Să căutăm să înţelegem mai precis conţinutul acestei relaţii de incertitudine. Pentru a cunoaşte starea iniţială a electronului, executăm o măsurare. Fiecare măsurare a poziţiei şi a vitezei este însoţită de o eroare. Dar aceste erori nu sînt independente una de alta. Produsul lor este constant, adică ele sînt invers proporţionale. Cu cît eroarea de măsurare a poziţiei este mai mică, cu atît eroarea de măsurare a vitezei este mai mare. Cu cît radiaţiile folosite au fost mai

dure, cu atît ele vor modifica mai mult viteza electronului. Eroarea de măsurare a vitezei electronului devine uriaşă dacă măsurăm poziţia lui cu o precizie foarte mare. Dacă am încerca să nu modificăm de loc viteza unui electron, ar trebui să folosim radiaţii infraroşii, care au lungimi de undă mari. Efectul Compton devine în acest caz neglijabil şi modificarea vitezei electronului va fi foarte mică. Însă noi ştim că nu putem stabili precis poziţia electronului cu ajutorul radiaţiilor cu lungime de undă mare.

Să ilustrăm aceste concluzii cu ajutorul următorului exemplu. Într-un teatru joacă doi artişti din care unul stă lîngă rampă, iar altul în fundul scenei. Observăm feţele lor printr-un binoclu. Cînd reglăm binoclul pentru a vedea clar pe actorul cel mai apropiat de public, constatăm că faţa actorului care joacă în fund apare neclar. Nu putem regla binoclul în aşa fel, încît să putem vedea clar în mod simultan feţele ambilor actori care joacă pe scenă. Dacă „punem la punct" binoclul pentru planul de la mijlocul scenei, vedem feţele celor doi actori numai uşor neclare. În comparaţia noastră unul din actori joacă rolul poziţiei, iar al doilea rolul vitezei electronului.

După concepţiile fizicii clasice, putem stabili cu precizia dorită atît poziţia cît şi viteza punctului material. Acesta este cazul cînd ambii actori ar juca lîngă rampă. Vedem că în noua mecanică cuantică există o limită a preciziei de măsurare, că aceste limite de precizie ale măsurării poziţiei şi vitezei sînt strîns legate una de alta, că în relaţiile de incertitudine care leagă aceste valori apare h, constanta lui Planck. Să presupunem că în relaţiile de nedeterminare nu apare h, ci zero. În acest caz obţinem trecerea la fizica clasică. Eroarea, atît în măsurarea vitezei cît şi în măsurarea poziţiei, ar putea fi în acelaşi timp egală cu zero!

Rezultatul acestor consideraţii este următorul: principiile mecanicii cuantice nu ne permit să stabilim cu precizia dorită starea iniţială a unui sistem microfizic. Erorile de măsurare trebuie să respecte relaţia de bază a nedeterminării lui Heisenberg. Într-un fel se stabileşte starea iniţială a sistemului în mecanica cuantică, şi în alt fel în meca-

nica clasică. Cunoaştem starea iniţială a sistemului dacă cunoaştem funcţiile corespunzătoare ale lui Schrödinger. Aceste funcţii ne permit să dăm răspunsul la orice întrebare formulată judicios, dacă ea se referă la un număr mare de sisteme. Prin aceasta ele confirmă regularitatea statistică a fenomenelor care se petrec în lumea atomului.

Am constatat analogia rezultatelor mecanicii cuantice cu rezultatele fizicii clasice statistice. În ambele cazuri obţinem rezultate care se referă la un număr mare de sisteme şi stabilesc probabilităţile unor stări. Această analogie se referă însă numai la rezultate. Raţionamentele statistice în fizica clasică se desfăşoară în următoarele etape: 1) legile mecanicii clasice pentru indivizi; 2) aplicarea statisticii; 3) precizările referitoare la un număr mare de sisteme. Aici obţinem concluzii statistice pe baza legilor referitoare la sisteme izolate, cu ajutorul raţionamentelor statistice. Legile statistice ale fizicii clasice *rezultă din legile sistemelor izolate*, dacă luăm în considerare faptul că avem de-a face cu un număr mare de sisteme. Mecanica cuantică, în schimb, conduce *nemijlocit* la concluzii statistice. Ea nu dă legi care determină precis soarta sistemelor izolate. Aşa fiind, se pune întrebarea: oare în lumea microfizică domneşte numai regularitatea statistică a fenomenelor? Să ascultăm deci două opinii diferite:

A. Legile mecanicii cuantice se referă numai la un număr mare de sisteme. Ele sînt corespunzătoare legilor statistice din fizica clasică. Este adevărat că nu cunoaştem legile care determină soarta moleculelor sau a atomilor izolaţi, dar dezvoltarea viitoare a ştiinţei ne va dezvălui cu siguranţă chiar şi aceste legi.

B. Tocmai legile mecanicii cuantice se referă la sisteme izolate. Un atom sau o moleculă izolată este condusă de legi care definesc numai probabilitatea diferitelor schimbări ale stării acestor sisteme. În lumea atomilor domneşte o regularitate statistică şi nu mecanicistă. Fizica de astăzi ne-a eliberat de multe idei preconcepute şi de deprinderi de gîndire înrădăcinate, ne-a dat metode noi de gîndire, de la care nu există nici o posibilitate să ne reîntoarcem.

Nu ştim care din părerile prezentate este corectă. Afirmaţia că lumea microfizică este condusă de legi pe care nu le cunoaştem, este o profesiune de credinţă, este o părere care nu poate fi nici infirmată, nici dovedită. Dar tot o profesiune de credinţă este şi părerea că această lume este condusă numai de legi statistice.

Mecanica cuantică ne-a arătat o imagine deosebită a lumii, mai fidelă decît fizica clasică. Nu ştim dacă această imagine nu va fi schimbată de dezvoltarea viitoare a ştiinţei, nu ştim dacă nu vom cunoaşte şi legile nestatistice ale fenomenelor care se petrec în interiorul atomului. Nici fizicienii cei mai mari ai secolului trecut n-ar fi putut să prevadă care vor fi *noile căi ale ştiinţei* din secolul al XX-lea. Frumuseţea ştiinţei veşnic tînără stă tocmai în dezvoltarea ei necontenită, plină de surprize, care ne dezvăluie orizonturi neaşteptate.

În clipa în care scriem aceste rînduri a fost doborît încă unul din canoanele consfinţite ale ştiinţei, despre care vom spune doar un cuvînt. Să ne închipuim lumea noastră reflectată în oglindă, în care partea dreaptă şi stîngă au fost schimbate. Unul din principiile de bază ale fizicii — pînă nu de mult — spunea: lumea şi imaginea ei reflectată sînt conduse de aceleaşi legi. Toate legile fizicii trebuie formulate în aşa fel încît să rămînă insensibile la schimbarea legată de reflectarea în oglindă. În anul 1957 acest principiu s-a dovedit inexact, iar înlăturarea lui a deschis perspective noi în faţa ştiinţei.

Dezvoltarea ştiinţei de astăzi a făcut să ne lepădăm de trufie. Sîntem asemenea unui astronom, care ştie că dincolo de spaţiul pe care i-l arată luneta cea mai puternică se întinde un univers plin de mistere şi devenim conştienţi de proporţiile lipsurilor în cunoştinţele noastre. Privind dincolo de triumfurile ştiinţei, dincolo de teoriile mari în care prindem acordurile universului şi simţim armonia lui, privind dincolo de dezvoltarea şi progresul ştiinţei de azi, ne dăm seama din ce în ce mai bine de uriaşul raport dintre pluralitatea şi complexitatea problemelor lumii înconjurătoare şi cunoştinţele noastre actuale. Dar tocmai posibilitatea de a păşi pe aceste poteci neatinse de gîndirea umană, care ne vor duce la o înţelegere mai bună a naturii, face ca viaţa noastră să fie plină de conţinut şi de farmec.

III. Tabelul elementelor

Nr. crt.	Simbol	Numele	Nr. crt.	Simbol	Numele
1	H	Hidrogen	52	Te	Telur
2	He	Heliu	53	I	Iod
3	Li	Litiu	54	Xe	Xenon
4	Be	Beriliu	55	Cs	Cesiu
5	B	Bor	56	Ba	Bariu
6	C	Carbon	57	La	Lantan
7	N	Azot (nitrogen)	58	Ce	Ceriu
8	O	Oxigen	59	Pr	Praseodim
9	F	Fluor	60	Nd	Neodim
10	Ne	Neon	61	Pm	Prometiu
11	Na	Natrium (Sodiu)	62	Sm	Samariu
12	Mg	Magneziu	63	Eu	Europiu
13	Al	Aluminiu	64	Gd	Gadoliniu
14	Si	Siliciu	65	Tb	Terbiu
15	P	Fosfor	66	Dy	Disprosiu
16	S	Sulf	67	Ho	Holmiu
17	Cl	Clor	68	Er	Erbiu
18	A	Argon	69	Tu	Tuliu
19	K	Potasiu (Kaliu)	70	Yb	Iterbiu
20	Ca	Calciu	71	Lu	Luteţiu
21	Sc	Scandiu	72	Hf	Hafniu
22	Ti	Titan	73	Ta	Tantal
23	V	Vanadiu	74	W	Wolfram
24	Cr	Crom	75	Re	Reniu
25	Mn	Mangan	76	Os	Osmiu
26	Fe	Fier	77	Ir	Iridiu
27	Co	Cobalt	78	Pt	Platin
28	Ni	Nichel	79	Au	Aur
29	Cu	Cupru	80	Hg	Mercur
30	Zn	Zinc	81	Tl	Taliu
31	Ga	Galiu	82	Pb	Plumb
32	Ge	Germaniu	83	Bi	Bismut
33	As	Arsen	84	Po	Poloniu
34	Se	Seleniu	85	At	Astatiniu
35	Br	Brom	86	Rn	Radon
36	Kr	Kripton	87	Fr	Franciu
37	Rb	Rubidiu	88	Ra	Radiu
38	Sr	Stronţiu	89	Ac	Actiniu
39	Y	Itriu	90	Th	Toriu
40	Zr	Zirconiu	91	Pa	Protactiniu
41	Nb	Niobiu	92	U	Uraniu
42	Mo	Molibden	93	Np	Neptuniu
43	Te	Tehneţiu	94	Pu	Plutoniu
44	Ru	Ruteniu	95	Am	Americiu
45	Rh	Rodiu	96	Cm	Curiu
46	Pd	Paladiu	97	Bk	Berkeliu
47	Ag	Argint	98	Cf	Californiu
48	Cd	Cadmiu	99	E	Einsteiniu
49	In	Indiu	100	Fm	Fermiu
50	Sn	Staniu	101	Mv	Mendeleeviu
51	Sb	Stibiu	102	No	Nobeliu

V. Tabelul izotopilor unor elemente

Elementul	Nr. de ordine	Nr. de izotopi	Numerele de masă ale izotopilor
Litiu	3	2	7—6
Beriliu	4	1	9
Bor	5	2	11—10
Carbon	6	2	12—13
Azot	7	2	14—15
Oxigen	8	3	16—18—17
Neon	10	3	20—22—21
Magneziu	12	3	24—26—25
Aluminiu	13	1	27
Siliciu	14	3	28—29—30
Fosfor	15	1	31
Sulf	16	4	32—34—33—36
Clor	17	2	35—37
Argon	18	3	40—36—38
Calciu	20	6	40—44—42—48—43—46
Fier	26	4	56—54—57—58
Nichel	28	5	58—60—62—61—64
Cupru	29	2	63—65
Zinc	30	5	64—66—68—67—70
Galiu	31	2	69—71
Germaniu	32	5	74—72—70—73—76
Seleniu	34	6	80—78—82—76—77—74
Brom	35	2	79—81
Kripton	36	6	84—86—82—83—80—78
Stronțiu	38	4	88—86—87—84
Zircon	40	5	90—94—92—91—96
Argint	47	2	107—109
Cadmiu	48	8	114—112—111—110—113—116—106—108
Staniu	50	10	120—118—116—119—117—124—122—112—114—115
Stibiu	51	2	121—123
Telur	52	8	130—128—126—125—124—122—123—120
Xenon	54	9	132—129—131—134—136—130—128—124—126
Bariu	56	7	138—137—136—135—134—130—132
Ceriu	58	4	140—142—138—136
Neodim	60	7	142—144—146—143—145—148—150
Mercur	80	7	202—200—199—201—198—204—196
Plumb	82	4	208—206—207—204
Bismut	83	1	209

Perioade	GRUPE I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII			0
1	H 1 Hidrogen 1,008										He 2 Heliu 4
2	Li 3 Litiu 6,9	Be 4 Beriliu 9	5 B Bor 10,8	6 C Carbon 12	7 N Azot 14	8 O Oxigen 16	9 F Fluor 19				Ne 10 Neon 20,2
3	Na 11 Natriu 23	Mg 12 Magneziu 24,3	13 Al Aluminiu 27	14 Si Siliciu 28,1	15 P Fosfor 31	16 S Sulf 32,1	17 Cl Clor 35,5				Ar 18 Argon 39,9
4	K 19 Potasiu 39,1	Ca 20 Calciu 40,1	Sc 21 Scandiu 45,1	Ti 22 Titan 47,9	V 23 Vanadiu 51	Cr 24 Crom 52	Mn 25 Mangan 54,9	Fe 26 Fier 55,9	Co 27 Cobalt 58,9	Ni 28 Nichel 58,7	
	29 Cu Cupru 63,6	30 Zn Zinc 65,4	31 Ga Galiu 69,7	32 Ge Germaniu 72,6	33 As Arsen 74,9	34 Se Selen 79	35 Br Brom 79,9				Kr 36 Krypton 83,7
5	Rb 37 Rubidiu 85,5	Sr 38 Stronțiu 87,6	Y 39 Yttriu 88,9	Zr 40 Zirconiu 91,2	Nb 41 Niobiu 92,9	Mo 42 Molibden 96	Tc 43 Tehnețiu	Ru 44 Ruteniu 101,7	Rh 45 Rodiu 102,9	Pd 46 Paladiu	
	47 Ag Argint 107,9	48 Cd Cadmiu 112,4	49 In Indiu 114,8	50 Sn Staniu 118,7	51 Sb Antimoniu 121,8	52 Ta Teluriu 127,6	53 J Iod				Xe 54 Xenon 131,3
6	Cs 55 Cesiu 132,9	Ba 56 Bariu 137,4	La 57-71* Lantan 138,9	Hf 72 Hafniu 178,6	Ta 73 Tantal 180,9	W 74 Wolfram 183,9	Re 75 Reniu 186,3	Os 76 Osmiu 190,2	Ir 77 Iridiu 193,1	Pt 78 Platină	
	79 Au Aur 197,2	80 Hg Mercur 200,6	81 Tl Taliu 204,4	82 Pb Plumb 207,2	83 Bi Bismut 209	84 Po Poloniu 210	85 At Astatiniu				Rn 86 Radon 222
7	Fr 87 Franciu	Ra 88 Radiu 226	Ac 89 Actiniu 227	Th 90 Toriu 232,1	Pa 91 Protactiniu 231	U 92** Uraniu 238,1					

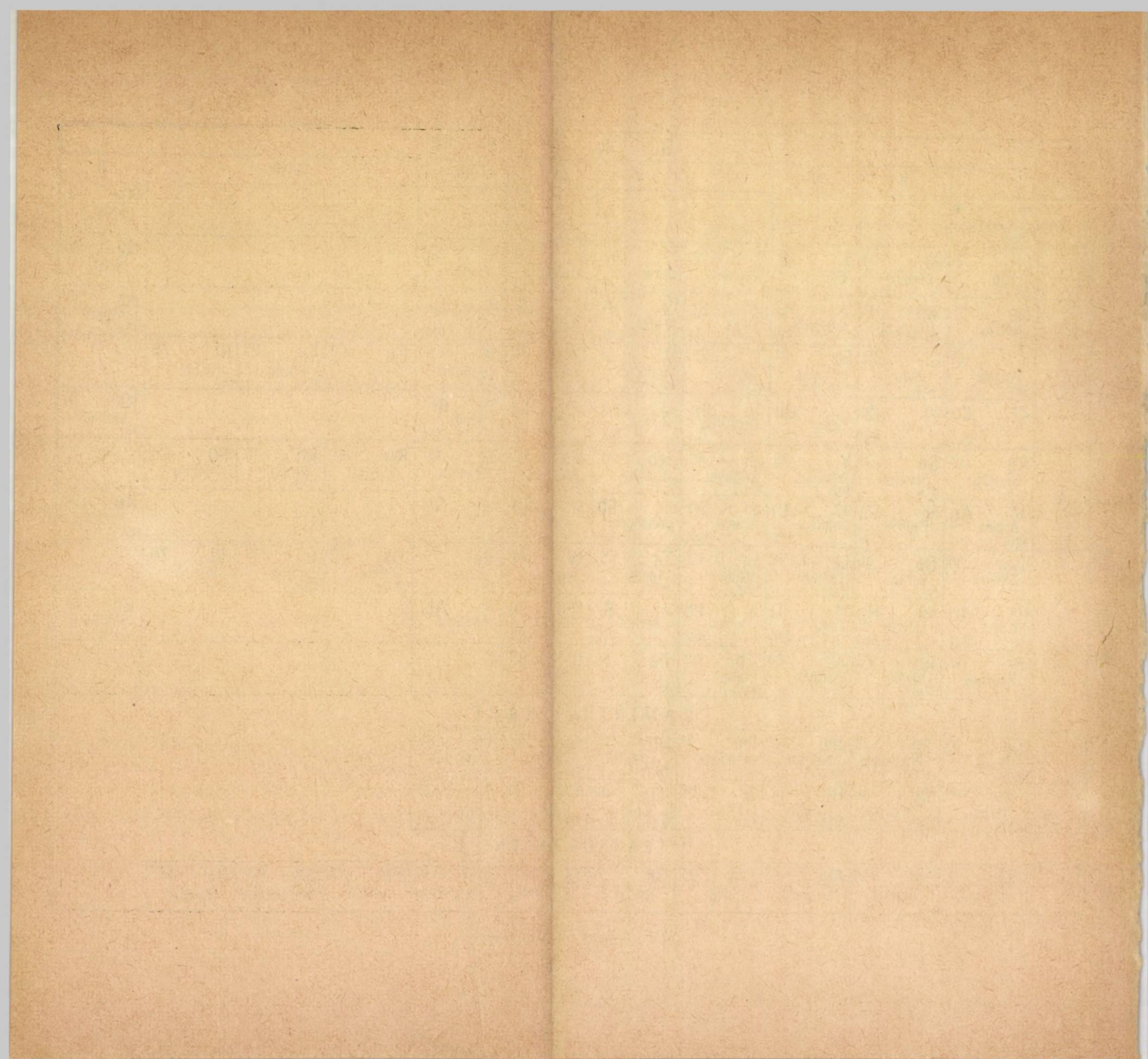
*PĂMÎNTURI RARE

	Ce 58 Ceriu 140,1	Pr 59 Praseodim 140,9	Nd 60 Neodim 144,3	Pm 61 Prometiu	Sm 62 Samariu 150,1	Eu 63 Europiu 152	Gd 64 Gadoliniu 156,9
	Tb 65 Terbiu 159,2	Dy 66 Disprosiu 162,5	Ho 67 Holmiu 164,9	Er 68 Erbiu 167,2	Tu 69 Tuliu 169,4	Yb 70 Iterbiu 173	Lu 71 Lutetiu 174,9

**TRANSURANIENE

	Np 93 Neptuniu	Pu 94 Plutoniu	Am 95 Americiu	Cm 96 Curiu	Bk 97 Berkeliu	Cf 98 Californiu	E 99 Einsteiniu	Fm 100 Fermiu	Mv 101 Mendeleeviu	No 102 Nobeliu

IV. Tabelul lui Mendeleev



INDEX DE NUME

INDEX ALFABETIC

TABLA DE MATERII

E R A T A

Pagina	*Rîndul*	*În loc de:*	*Se va citi:*
37	2 la legenda fig. 1	fontă	fantă
66	15 de sus	plastică	clasică
72	14 şi 15 de sus	$(E = 1 \times 30\,000\,000\,000)^2$	$E = 1 \times (30\,000\,000\,000)$
89	7 de sus	de infraroşu	în infraroşu
108	7 de sus	ca deasupra	cade asupra

Noile căi ale ştiinţei

Redactor resp. de carte : Gh. Doru
Tehnoredactor : M. Damian
Corector : Gh. Argint

Dat la cules 5.01.960. Bun de tipar 2.03.960. Tiraj 5000+160 ex. Hîrtie semivelină de 65 gr./m.p. Format 54×84/16. Coli editoriale 15,18. Coli tipar 16,50+2 planșe A.: 04268/959. Pentru bibliotecile mari indicele de clasificare 53. Pentru bibliotecile mici indicele de clasificare 53.

Tiparul executat sub com. nr. 35 la Combinatul Poligrafic Casa Scînteii „I. V. STALIN", Piața Scînteii nr. 1, București — R.P.R.

Lei 6,50